

Havununnan (*Lymantria monacha*) levinneisyyshistoria ja seuranta Suomessa

Riku Elfving

Pro gradu -tutkielma

Oulun yliopisto

Biologian tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2020

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	3
1.1. Havununnan perusekologia.....	4
1.2. Merkitys metsätuholaisena.....	7
1.3. Metsätuhojen välttäminen.....	8
1.4. Havununnakannan monitorointi.....	10
1.5. Havununna Suomessa.....	13
1.6. Ilmastomuutos ja havununna.....	14
1.7. Tutkimuksen tavoitteet.....	17
2. Aineisto ja menetelmät.....	18
2.1. Tutkimusalue.....	18
2.2. Havununna-aineiston keruu.....	19
2.3. Ilmastoön liittyvien muutosten tutkiminen.....	21
3. Tulokset.....	22
3.1. Levinneisyshistoria.....	22
3.2. Saalismäärät.....	24
3.3. Metsätuhojen riskialueet.....	27
3.4. Muutokset ilmastossa.....	28
4. Pohdinta.....	30
4.1. Havununnan levinneisyys Suomessa.....	30
4.2. Muuttuneen ilmaston vaikutus.....	33
4.3. Virhetekijät.....	34
4.4. Tulevaisuuden näkymät.....	37
5. Johtopäätökset.....	38
6. Lähdeluettelo.....	39

1. Johdanto

Havununna (*Lymantria monacha*) on villakkaisiin kuuluva perhoslaji, joka on herättänyt suurta huomiota Keski- ja Itä-Euroopassa aiheuttamillaan metsätuhoilla (Schönherr 1985, Bejer 1986, Bejer 1988, Uhlíková ym. 2011). Bejerin (1988) esittämässä levinneisyyskartassa havununna esiintyy Keski-Euroopassa yleisenä, aiheuttaen toistuvia, syklittäisiä metsätuhoja, mutta se on levinneisyytensä pohjoisrajalla aivan eteläisimmässä Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) vuosina 1993–2012 tekemän valtakunnallisen yöperhosseurannan perusteella on kuitenkin havaittu, että 1990-luvulta lähtien valopyydyksiin jääneiden havununnien määrä on 80 kertaistunut (Leinonen ym. 2016). Lajitietokeskuksen Laji.fi-havaintopalveluun merkittyjen havaintojen perusteella havununna on vakiintunut jo Joensuun ja Kuopion korkeudelle asti. Sen tiedetään aiheuttaneen pienialaista tuhoa Lounais-Suomen saaristossa (Pouttu & Heino, 2014), joten havununnapopulaation monitoroinnin aloittaminen on ajankohtainen kysymys myös Suomessa. Luonnonvarakeskus (Luke) kokeili seurantaa vuonna 2018 muutaman kymmenen feromonipyydyksen avulla, mutta kesällä 2019 havununnan esiintymistä kartoitettiin kattavalla pyydysverkostolla Etelä- ja Keski-Suomessa. Tarkoituksena oli kerätä tarpeellista pohjatietoa havununnakannasta Suomessa. Sen avulla monitorointia voidaan keskittää tulevana vuosina tiheimmän kannan alueille, missä mahdollisten metsätuhojen riski on suurin, jos havununnakannat jatkavat kasvuaan.

1.1 Havununnan perusekologia

Havununna on villakkaisiin (alaheimo Lymantriinae) kuuluva keskisuuri ja yöaktiivinen perhonen, jonka siipien yleensä valkoisessa pohjavärisssä on kirjavia mustia kuvioita ja pisteitä (Novak 1976, Leinonen ym. 2016). Siipien väritys vaihtelee paljon, ja voi vaihdella tummanharmaasta lähes mustaan asti. Naaraan siipiväli on 45–55 millimetriä, ja pienemmällä koiralla se on 35–45 millimetriä (Novák ym. 1976). Lepoasennossa siivet asettuvat kolmionmuotoon. Havununnakoiraan tunnistaa naaraasta kampamaisten tuntosarvien avulla (**Kuva 1**).



Kuva 1. Ylärivissä kaksi havununnakoirasta, vasemmalla tavanomainen vaalea fenotyyppi ja oikealla tumma melanistinen yksilö. Koirilla esiintyy väri vaihtelua näiden kahden muodon välillä. Alarivissä kookkaampi naaras, jonka peräpäässä pitkä munanasetin näkyy selvästi. Sukupuolet erottaa koon lisäksi helposti myös tuntosarvien rakenteesta.

Havununnan levinneisyys ulottuu Keski-Euroopasta Venäjän eteläosien kautta itäiseen Aasiaan aina Kiinaan, Koreaan ja Japaniin asti (Bejer 1988, Yasyukevich ym. 2015). Elinkierroltaan havununna on yksivuotinen, ja se talvehtii munina, jotka naaras asettaa yleensä puun tyviosaan kaarnan rakoihin (Bejer 1988). Havununnakoiraiden lento alkaa heinäkuun puolenvälin aikoihin, ja kestää syyskuun alkuun asti maantieteellisestä sijainnista ja sääoloista riippuen (Jensen & Nielsen 1984, Hielscher & Engelmann 2012, Wang ym. 2017). Havununnanaaraat ovat huonoja lentäjiä, ja usein ne asettuvat puiden rungoille houkuttelemaan koiraita feromonilla (Bejer 1988). Parittelun jälkeen myös naaraat voivat lentää aktiivisemmin (Bejer 1988). Lisääntymisen jälkeen aikuiset havununnat menehtyvät. Havununnien lentoaktiivisuuteen vaikuttavat sääolot, erityisesti lämpötila. Yölämpötilojen laskiessa alle 8–12°C asteen havununnien lento loppuu lähes kokonaan (Jensen & Nielsen 1984, Skuhrový 1987, Skatulla & Feicht 1995). Jensen ja Nielsen (1984) havaitsivat lennon olevan aktiivisinta iltalämpötilan ollessa 15–22°C astetta. Havununnat ovat aktiivisimmillaan puolenyön aikoihin, mutta aloittavat lennon heti hämärän laskeuduttua muuten suotuisissa sääoloissa (Skuhrový & Zumr 1981). Skatulla ja Feicht (1995) kuitenkin havaitsivat, että öinen lentoaika voi vaihdella paljon maantieteellisesti läheisten populaatioiden kesken, vaikka seuranta-alueiden välisessä metsärakenteessa ei ollut eroja.

Parittelun jälkeen havununnanaaras munii keskimäärin 120–180 munaa, jotka se asettaa noin 40 munan ryppäisiin puiden runkojen alaosiin kaarnan rakoihin pitkällä munanasettimellaan (Bejer 1988). Toukat kehittyvät munien sisällä useamman viikon ja aloittavat talvehtimisen munien sisällä lähes täysin kehittyneinä. Havununnan munat kestävät keskimäärin -29°C lämpötilaa ennen alijäähtymistään (Fält-Närdmann ym. 2018b). Kun lämpötilat talven jälkeen alkavat kohota, munien diapaussi loppuu, ja kehittyvät toukat alkavat hyödyntää munien vararavintoa ennen kuoriutumistaan. Munien kuoriutuminen ajoittuu lämpötilojen mukaan, mutta tapahtuu yleensä toukokuun alkupuolella (Bejer 1988). Kuoriutumisen jälkeen toukat pysyttelevät muutaman päivän talvehtimispaikan läheisyydessä ennen kuin lähtevät kiipeämään puun runkoa ylöspäin kohti latvustoa. Havununnan toukat käyttävät ravintonaan pääasiassa havupuita, kuten kuusta (*Picea abies*), mäntyä (*Pinus sylvestris*), lehtikuusia (*Larix* sp.) ja pihtoja (*Abies* sp.), mutta selviävät myös monen muun puun ja varpukasvin lehdistä ja neulasilla (Bejer 1988, Keena ym. 2003, Nakládal & Brinkeová 2015). Havununnan toukkien kehityksessä on viidestä seitsemään eri

kehitysvaihetta, joiden mukaan niiden ravinto vaihtelee. Nuorimmat, vastakuoriutuneet toukat käyttävät ravintonaan pääasiassa kuluvan vuoden versoja ja puiden hedekukintoja (Bejer 1988). Munien kuoriutumisen ajankohta on synkroniassa puiden kukinnan kanssa, jotta nuorilla toukilla olisi optimaalista ravintoa tarjolla heti kuoriutumisen jälkeen. Nuorimmat toukat osaavat lisäksi leijailla ilmavirtausten mukana silkkiä apuna käyttäen sopivan ravinnon etsimiseksi. Keena ym. (2019) havaitsivat, että vastakuoriutuneet toukat voivat lämpötilasta riippuen selvitä jopa viikon ilman ravintoa, mikä mahdollistaa optimaalisen ravinnon etsimisen kuoriutumipaikan lähiympäristöstä. Vanhemmat toukat kykenevät hyödyntämään myös vanhempia neulasia ja lehtiä (Bejer 1988, Jensen 1991) ja syömään useita eri kasvilajeja (Keena ym. 2003). Toukat koteloituvat yleensä heinäkuun alussa puun rungolle, mutta massaesiintymisvuosina koteloitumista voi tapahtua myös isäntäpuun latvaosiin. Havununnan kotelot ovat noin kahden senttimetrin pituisia, punertavan ruskeita ja vaaleiden karvatupsujen peittämiä (**Kuva 2**).



Kuva 2. Havununnan kotelokoppa männyn rungolla (Heino ja Pouttu 2014). Kuva: Antti Pouttu (Luke).

Havununnat kuoriutuvat kotelostaan heinäkuun puolenvälin aikoihin. Lämpötila vaikuttaa havununnan elinkierron eri vaiheisiin, ja sen nousun on havaittu lyhentävän esimerkiksi toukan kehitysaikaa (Karolewski ym. 2007). Lisäksi eri populaatioissa elinkierron kehitysvaiheiden kesto vaihtelee (Fält-Nardmann ym. 2017). Tämä voi olla peräisin populaatioiden sopeutumisesta paikallisiin ilmasto-olosuhteisiin.

1.2 Merkitys metsätuholaisena

Havununna on saanut suurta huomiota metsätuholaisena Keski-Euroopassa, jossa se on aiheuttanut suuria tuhoja havupuumetsissä (Schönherr 1985, Bejer 1986, Bejer 1988, Jensen 1991, Uhlíková ym. 2011, Nakládal & Brinkeová 2015) jo vuosikymmenien ajan, ja on yksi merkittävimmistä metsätuholaisista Euroopassa. Havununna suosii erityisesti kuusen (*Picea abies*) ja männyn (*Pinus sylvestris*) muodostamia metsiä, mutta on generalistinen herbivori ja pystyy käyttämään ravintonaan myös lukuisia muita havu- ja lehtipuita sekä varpuja (Bejer 1988, Jensen 1991, Keena 2003, Nakládal & Brinkeová 2015). Suurimmat havununnan aiheuttamat metsätuhot 1900-luvulla tapahtuivat 1978-1984 Puolassa, jossa yli 2 miljoonaa hehtaaria kuusi-, mänty- ja lehtikuusimetsää kärsi vahinkoja havununnan peräkkäisten massaesiintymien takia (Schönherr 1985). Tuhoalue kattoi jopa neljäsosan Puolan kaikista metsistä, ja erityisesti kuusivaltaisissa metsissä tuhot johtivat usein metsien kuolemaan ja hakkaamiseen. Kuuset ovat erityisen herkkiä havununnan aiheuttamille tuhoille, sillä usein jo 50 % neulaskato johtaa puun kuolemaan (Bejer 1988). Yksittäisen puun puhtaaksi syömiseen tarvitaan arvioiden mukaan 600–1000 toukkaa, mutta pahimpina vuosina Puolassa havaittiin yleisesti 10 000–20 000 toukkaa yhtä isäntäpuuta kohti. Jo 1800-luvulla tapahtuneiden havununnan massaesiintymien seurauksena valtavat alueet metsämaata jouduttiin raivaamaan maatalousalueiksi nykyisen Puolan ja Venäjän alueelta (Bejer 1988). Neulasten syönnistä on negatiivisia vaikutuksia isäntäpuiden kasvuun, mikä havaitaan esimerkiksi vuosirenkaiden paksuutta tutkittaessa, kuten Kochanowski ja Bednarz (2007) havaitsivat männnyillä. Havununnan massaesiintymillä oli negatiivinen korrelaatio puiden paksuuskasvuun. Puiden kasvun heikkeneminen on osa metsätuholaisten aiheuttamista ongelmista esimerkiksi metsätalouden näkökulmasta. Vaikka metsätuholaiset eivät aiheuttaisi yksittäisten puiden kuolemaa, niin niillä on silti negatiivinen vaikutus puiden kasvuun ja hyvinvointiin. Havununnien neulassyönnin vuoksi heikentyneet havupuut ovat lisäksi vaarassa joutua muiden tuholaisten, kuten kaarnakuoriaisten, hyökkäyksen kohteeksi (Bejer 1988).

Viime vuosikymmenien aikana havununnan massaesiintymät Euroopassa ovat olleet paikallisempia, keskittyen pääsääntöisesti yksilajisiin, istutettuihin havupuumetsiin (Uhlíková ym. 2011, Nakládal & Brinkeová 2015). Uhlíková ym. 2011 havaitsivat, että Tšekissä havununnan massaesiintymät ovat siirtyneet mäntymetsistä kuusivaltaisiin metsiin

1900-luvulle siirryttäessä. Historiallisten massaesiintymien raportointia tutkittaessa huomattiin, että massaesiintymien kohteena ovat aiempaa useammin kuusimetsät. Havununnan preferenssi kuusimetsiä kohtaan on havaittu myös muualla Euroopassa, kuten Saksassa (Heiermann & Földner 2006), Italiassa (Cescatti & Battisti 1992) ja Tanskassa (Bejer 1988), missä havununna on usein yleisin perhoslaji puhtaissa kuusimetsissä. Havununnan historiallisten massaesiintymien avulla on pyritty selvittämään epidemioiden kannalta riskialttiita metsiä, joissa massaesiintymät ovat toistuneet useamman kerran (Uhlíková ym. 2011). Massaesiintymien on havaittu tapahtuvan erityisen usein alueilla, joissa vallitsee yksipuolinen havupuumetsän lisäksi huonolaatuinen hiekkamaaperä, jonka seurauksena puut kärsivät kuivuuden aiheuttamasta stressistä (Bejer 1986, Bejer 1988, Jensen 1991, Uhlíková ym. 2011, Nakládal & Brinkeová 2015). Kaikkein alttiimpia havununnan massaesiintymille ovat kuusen luonnollisen levinneisyysalueen ulkopuolelle istutetut saman ikäiset kasvatuskuusikot, jotka kasvavat huonolaatuisessa ja hiekkaisessa maaperässä. Tällaisten kasvatusmetsien istuttaminen lisää havununnan aiheuttamien metsätuhojen riskiä. Havununna ei ole tiettävästi aiheuttanut Suomessa kuin pienialaista tuhoa syömällä pienen saaren kasvillisuuden Lounais-Suomessa (Pouttu & Heino 2014). Laji on kuitenkin yleistynyt Suomessa viimeisten vuosikymmenien aikana voimakkaasti (Leinonen ym. 2016), ja on mahdollista, että laji tulee aiheuttamaan laajempia metsätuhoja tulevaisuudessa.

1.3 Metsätuhojen välttäminen

Usein monimuotoisia ja monilajisia metsiä on pidetty vastustuskykyisinä erilaisia häiriöitä ja tuhohyönteisiä vastaan (mm. Koricheva ym. 2006, Castagneyrol ym. 2014, Jactel ym. 2017). Useita eri puulajeja kasvavat metsät eivät ole yhtä riskialttiita specialistiherbivorien aiheuttamille vahingoille (Koricheva ym. 2006), sillä optimaalista ravintoa ei ole saatavilla yhtä helposti kuin yksilajisissa kasvatusmetsissä. Generalististen herbivorien, kuten havununnan, kohdalla puuston monimuotoisuus ei kuitenkaan välttämättä suojaa tuhoilta. Castagneyrol ym. (2014) havaitsivat, että erityisen tärkeää tuhojen välttämiseksi on eri puulajien fylogeneettinen etäisyys toisistaan, eikä niinkään puulajien lukumäärä. Ravinnonsaannin lisäksi metsän monimuotoisuus vaikuttaa myös metsäalueen eläinyhteisön monimuotoisuuteen, jolloin myös herbivorien luonnollisten vihollisten lukumäärä voi olla

suurempi (Koricheva ym. 2006, Castagneyrol ym. 2014, Jactel ym. 2017). Kaitaniemi ym. (2007) havaitsivat, että männyn taimet selvisivät paremmin ruskomäntypistiäisen aiheuttamasta vahingosta kasvatettuna koivuntaimien kanssa samalla alueella. Sekataimikossa esiintyi enemmän mäntypistiäistoukkien luonnollisia vihollisia, kuten muurahaisia, jotka rajoittivat pistiäistuhoja. Metsien monimuotoisuus voi siis vaikuttaa herbivoreihin myös epäsuorasti muiden trofiatasojen kautta. Monet linnut, kuten tikat, käyttävät havununnan toukkia ravintonaan (Bejer 1988), joten monimuotoisessa metsäyhteisössä voi olla enemmän luontaisia petoja rajoittamassa havununnakantaa. Vuorovaikutussuhteet luonnossa ovat kuitenkin usein hyvin monimutkaisia ja hankalia ennustaa. Vaikka Kaitaniemi ym. (2007) havaitsivat mäntypistiäistuhojen pienentyvän sekapuutaimikossa, niin kirvojen aiheuttamat tuhot puolestaan kasvoivat.

Havununna pystyy käyttämään ravintonaan lukuisia eri kasvilajeja, mutta sen aiheuttamat metsätuhot keskittyvät erityisesti mänty- ja kuusimetsiin (Bejer 1988, Jensen 1991, Uhlíková ym. 2011). Havununnatuhojen välttämiseksi tällaisten kasvatusmetsien istuttamista on vältettävä, erityisesti riskialueilla (Bejer 1986, Uhlíková ym. 2011). Toisaalta Heiermann ja Schütz (2008) eivät havainneet havununnan runsaudessa eroja pyyntipaikkojen välillä, joissa metsän rakenne vaihteli kuusimetsästä sekametsään. Havununnia pyydettiin valopyydyksillä kuusen (*Picea abies*) ja pyökin (*Fagus sylvatica*) muodostamista sekametsistä, joissa puulajien keskinäinen runsaus vaihteli. Havununna oli yleisin saaliiksi saatu laji puhtaissa kuusimetsissä, mutta tilastollista eroa ei havaittu kuusi- ja sekametsien havununnasaaliiden välillä. Havununna voi käyttää myös pyökin lehtiä ravintonaan, mikä voi selittää sen, ettei merkitseviä runsauseroja löydetty metsätyyppien välillä. Cescatti ja Battisti (1992) havaitsivat puolestaan, että metsän latvuspeittävyys korreloi havununnan massaesiintymien kanssa. Ylitiheissä metsissä havununnan toukille voi olla helpommin tarjolla optimaalista ravintoa toukan eri kehitysvaiheissa. Metsän harvennuksien suorittaminen ajallaan voi olla yksi keino ennaltaehkäistä havununnan aiheuttamia tuhoja, etenkin kun hyvällä metsänhoidolla tiedetään yleensäkin olevan metsien terveyttä edistävä vaikutus, ja terve metsä on vastustuskykyisempi tuholaisia vastaan.

Havununnan torjuntaan on käytetty lukuisia erilaisia hyönteismyrkkyjä sen aiheuttamien laajojen metsätuhojen vuoksi, mutta usein myrkkujen käyttö ei ole ongelmatonta (Bejer 1986, Jensen 1991, Glowacka 1995). Monet torjunta-aineet vaikuttavat

havununnien lisäksi lukuisiin muihin hyönteisiin tappavasti. Wanner ym. (2005) eivät kuitenkaan omassa tutkimuksessaan havainneet havununnien myrkytyksellä olevan merkitsevää vaikutusta muille selkärangattomille tai ympäröiville habitaateille. Lajispesifimpien myrkkujen ongelma on puolestaan niiden hitaampi vaikutusaika, jolloin tuhot voivat olla suuria myrkytyksen viiveen vuoksi. Laajoja metsäalueita on kuitenkin ruiskutettu myrkyillä esimerkiksi Puolassa (Bejer 1988) massaesiintymien lopettamiseksi ja metsätuhojen estämiseksi. Vuosina 1978-1984 tapahtuneiden massaesiintymien seurauksena miljoonia hehtaareja metsää ruiskutettiin hyönteismyrkkyllä, mutta siitä huolimatta tuhojen laajuus oli valtava (Schönherr 1985). Havununnan toukkia infektoiva NP-virus on myös todettu tehokkaaksi, ja usein massaesiintymien luonnollinen häviäminen perustuu kyseisen viruksen aiheuttamaan kuolleisuuteen (Zethner 1976, Bejer 1988, Ilyinykh 2011). Tanskassa NP-virusta ruiskutettiin havununnan tuhoalueille, mutta osa toukista kehittyi koteloitumiseen asti ennen kuolemistaan (Zethner 1976). Vaikka virus tappoi 90 % infektoiduista yksilöistä, vain noin puolet toukista kuoli jo toukkavaiheessa. Tuhoja ei kuitenkaan enää syntynyt seuraavina vuosina. Suomessa mäntypistiäistuhon torjuntaan on jo vuosikymmeniä käytetty mäntypistiäisten luontaista monisärmiövirusta, jota ruiskutetaan massaesiintymävuosina pahimmille tuhoalueille (Nuorteva 1972). Metsätuholaisten luonnolliset virukset ovat yleensä tehokkaita ja turvallisia keinoja pienentää tuhohyönteisten massaesiintymiä ja hillitä metsätuhoja.

1.4 Havununnakannan monitorointi

Havununnien monitorointi ja kannanseuranta on sen levinneisyysalueilla kehittynyt vuosien aikana feromonihoukutteiden käyttöön (mm. Skuhravý & Zúmr 1981, Jensen & Nielsen 1984, Skuhravý 1988, Jensen 1991, Morewood ym. 2000, Wang ym. 2017), jotka on todettu tehokkaiksi ja tarkoiksi keinoiksi houkutella lennolla olevia havununnakoiraista pyydyksiin. Perinteisesti havununnien määrää massaesiintymisissä on arvioitu laskemalla puiden rungoilla lepäileviä perhosia ja tyhjiä kotelokuoria, tai keräämällä toukkien jätöksiä isäntäpuiden alapuolelta liimalevyillä. Teollisiin feromoneihin perustuva koirashavununnien pyynti näyttäisi kuitenkin olevan tehokas ja helppo keino, joka korreloi osittain perinteisten kannanarviointiin käytettyjen menetelmien kanssa (Morewood ym. 2000). Myös muiden

perhoslajien monitoroinnissa on siirrytty feromonipyyntiin, ja tuloksien perusteella feromonipyyntin saalismäärä korreloi paikallispopulaation kanssa, ja on käyttökelpoinen monitorointiin (Jactel ym. 2006, Straw ym. 2019). Feromonipyydysten avulla on voitu tehokkaasti vähentää maastotyötunteja perinteiseen monitorointiin verrattuna. Se on myös selvästi tehokkain keino monitorointiin, kun havununnapopulaation tiheys on alhainen (Jensen 1991). Feromonipyydysten avulla on lisäksi pystytty selvittämään havununnien fenologiaa ja ekologiaa aiempaa tarkemmin, mikä auttaa monitoroinnin suunnittelussa ja toteuttamisessa (Hielscher & Engelmann 2012, Wang ym. 2017). Jensen ja Nielsen (1984) tutkivat havununnakoiraiden lentoaikaa ja pyyntimääriä eri metsätyypeissä Tanskassa. He havaitsivat, että koiraat ovat kiinnostuneita feromonista parittelun jälkeenkin. Vertailtaessa naaraiden läsnäoloa ja koiraiden lentoa feromonille havaittiin, että koiraiden lento jatkuu hyvien sääolosuhteiden myötä useita päiviä kauemmin kuin mitä havununnanaaraita on havaittavissa lisääntymisalueilla. Tämän seurauksena on mahdollista, että dispersoivia koiraita lentää feromonipyydyksiin parittelun jälkeen varsinaisen lisääntymisalueen ulkopuolella. Tämän vuoksi tuhojen kannalta riskialttiita, paikallisia metsäalueita voi olla hankala kartoittaa koiraiden feromonipyyntillä. Aikuiset koiraat voivat elää parittelun jälkeen jopa 24 päivää, mikä on havaittu merkintä-uudelleenpyynti-kokeissa (Skuhravý ym. 1987). Tänä aikana ne voivat lentää pitkiäkin matkoja lisääntymisalueidensa ulkopuolelle. Tämän vuoksi pyydytettujen koirashavununnien määrä ei korreloi suoraan alueella olevien naaraiden määrään (Jensen & Nielsen 1984).

Hielscher ja Engelmann (2012) tekivät tilastollisia laskelmia tuhansille feromonipyydyksille kymmenen vuoden ajalta selvittääkseen havununnan lentoon liittyviä ajoituksia ja havununnien määrää tavallisina ja massaesiintymisvuosina. Pyyntiaineisto oli kerätty Saksasta, ja tilastolliseen testaukseen sisällytettiin vain mäntymetsissä sijainneet pyydykset. Havununnien lento alkoi aikaisintaan 20. kesäkuuta ja jatkui pisimmillään 17. syyskuuta asti, mutta 90 % maksimaalisista päivittäisistä havununnasaaliista saatiin aikavälillä 9. heinäkuuta – 15. elokuuta. Yhden vuorokauden ja koko kesän maksimisaaliin välillä on vahva positiivinen korrelaatio, minkä vuoksi feromonipyyntiä voidaan kohdentaa juuri parhaaseen havununnan lentoaikaan ja vähentää monitorointiin tarvittavan työn määrää huomattavasti. Lisäksi feromonipyyntien tehokkuutta pyydysten sijoittelua muuttamalla on myös tutkittu, mikä helpottaa tulevien feromonipyyntien suorittamista

(Skuhravý 1987, Wang ym. 2017). Skuhravý (1987) havaitsi, että feromonipyydysten sijoittaminen 1,5–3,5 metrin korkeuteen johti suurempaan saalismäärään kuin maanpinnan lähetyville tai yli 3,5 metrin korkeuteen asetettu pyydys. Samanlaisia havaintoja teki myös Wang ym. (2017) asettamalla ansoja maanpinnan tasolle sekä kahden ja viiden metrin korkeuteen. Pyydykset kahden metrin korkeudessa pyysivät huomattavasti enemmän havununnakoiraita kuin vastaavanlaiset pyydykset eri korkeudella. Havununnien optimaalinen lentokorkeus näyttäisi olevan suhteellisen matala, joka helpottaa myös pyydysten asettelua ja tarkastamista. Wang ja muut (2017) käyttivät tutkimuksissaan cis-7,8-epoxy-2-metyylioktadekaani (disparlure) yhdistettä, joka houkuttelee havununnien lisäksi myös lehtinunna (*Lymantria dispar*). Pyydystyyppinä he käyttivät Unitrap-suppiloansaa, jonka pyyntiteho ei heikkene saaliiksi jääneiden perhosten määrän kasvaessa, minkä vuoksi se on yksi käytännöllisimpiä pyydyksiä havununnien pyyntiin (Morewood ym. 2000).

Wang ym. (2017) testasivat myös feromonin vaikutusalueutta asettamalla ansoja tietyn matkan päähän havununnien valtaamasta metsästä. Tarkoituksena oli testata feromonivalmisteen toimintaetäisyyttä. Kauimmaisat havununnat löytyivät pyydyksistä, jotka oli sijoitettu 200 metrin päähän metsänrajasta, kun taas 500–1000 metrin päässä olleista pyydyksistä ei saatu yhtään havununnaa. Feromoni houkuttaa havununnakoiraita siis vähintään 200 metriä metsänrajasta avoimelle alueelle. Kuten Skuhravý ja Zúmr (1981) havaitsivat Euroopassa, tuuliolosuhteilla on merkitystä feromonin leviämiseen lähiympäristössä, ja vaikuttaa näin ollen pyydysten tehokkuuteen. He havaitsivat, että pienessä tuulenvireessä saalismäärät olivat 3–5 kertaa suurempia kuin täysin tyyneessä. On siis myös oletettavaa, että tuulen suunnasta riippuen pyydysten houkuttelumatka ei ole symmetrinen pyydyksen ympärillä, vaan kohdistuu tuulen suunnan mukaisesti. Myös Stancă-Moise ym. (2017) havaitsivat tuulen vaikutuksen feromonipyyntissä Romaniassa. Rinteisiin asetetuissa pyydyksissä saalismäärään vaikutti pyydyksen sijainti puun eri puolilla. Rinteillä vallitsevat tuulet levittävät feromonia epätasaisesti ympäristöön, joka näkyy saalismäärien eroina.

Laajamittaisen monitoroinnin avulla voidaan havaita muutokset havununnakannassa ja ennustaa mahdolliset massaesiintymät ja metsätuhot (Oltean ym. 2003). Massaesiintymien muodostumiseen tarvitaan useampi hyvä vuosi, ja monitoroinnilla voidaan havaita sen kehitys ennen varsinaista massaesiintymää. Näin myös mahdollisten

suojelutoimenpiteiden toteuttaminen onnistuu ilman viivettä. Tämän vuoksi havununnakantojen monitorointi erityisesti riskialueilla on välttämätöntä.

1.5 Havununna Suomessa

Ensimmäiset havununnahavainnot entisen Suomen alueelta ovat vuodelta 1899 Viipurista, ja vuonna 1912 löydettiin useita yksilöitä Viipurin satama-alueelta (Saalas 1949). Onkin todennäköistä, että nämä havununnat saapuivat laivaliikenteen mukana. Ensimmäinen havununnan toukka löydettiin Ahvenanmaalta 1947, mutta laji oli edelleen todella harvinainen harhailija Suomessa. Viime vuosikymmenien aikana havununnahavainnot Suomessa ovat perustuneet perhosharrastajien havaintoihin ja valtakunnallisen yöperhosseurannan tuloksiin (Leinonen ym. 2016), mutta varsinaista monitorointia ei ole aiemmin tehty. Luonnontieteellisen museon ylläpitämään havaintotietokantaan (Laji.fi) harrastajat ovat merkinneet havununnahavaintojaan jo useiden vuosien ajan. Näiden havaintojen pohjalta näyttäisi siltä, että havununna on vakiintunut Suomeen ainakin Vaasa-Kuopio-Joensuu akselin eteläpuolelle. Havainnot ovat kuitenkin olleet melko harvalukuisia jo Tampereen pohjoispuolella. Havununnan runsastuminen Suomessa on tapahtunut todella nopeasti, sillä 1990-luvulta lähtien Leinonen ym. (2016) havaitsivat yöperhosseurannassa saaliiksi jääneiden havununnien määrän 80 kertaistuneen. Havununnan nopean leviämisen ja runsastumisen syitä ei tiedetä, mutta lämpenevä ilmasto voi olla yksi merkittävä tekijä. Erityisesti talvien minimilämpötilan on arveltu rajoittavan tehokkaasti hyönteisten esiintymistä, ja tuhohyönteisten massaesiintymiä on pystytty selittämään lämpimien talvien avulla (Neuvonen ym. 1999). Ilmaston lämpenemisellä on selitetty myös mittarilajien massaesiintymien tapahtumista entistä pohjoisemmilla ja mantereisilla alueilla (Jepsen ym. 2008), mikä on oletettavasti seurausta kasvaneesta talvisäilyvyydestä. Lauhoina talvina munina talvehtivien hyönteisten säilyvyys paranee, mikä voi johtaa massaesiintymiin seuraavina kesinä, kuten mallinnus osoitti ruskomäntypistiäisen (*Neodiprion sertifer*) ja tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) kohdalla. Myös Amunet ym. (2012) havaitsivat talvipakkasten selittävän munina talvehtivien mittarilajien levinneisyyttä ja massaesiintymiä. Rajoittavien äärilämpötilojen harvinaistuuksessa on oletettavaa, että lajien levinneisyys laajenee pohjoisemmaksi.

Havununnan plastisuutta ja sopeutumista Suomen ilmasto-oloihin on tutkittu vertailemalla yksilöitä Etelä-Suomen ja Saksan populaatioista (Fält-Nardmann ym. 2017). Havununnia kasvatettiin samanlaisissa olosuhteissa ja havaittiin, että suomalaisten toukkien koteloituminen tapahtui pienemmässä lämpösummassa kuin saksalaisten. Toisin sanoen suomalaiset toukat koteloituivat aiemmin, mikä saattaisi olla adaptaatio Suomen lyhyempään kesään. Sopeutuminen näyttäisi tapahtuneen havununnalla todella nopeasti, vain muutaman vuosikymmenen aikana. Havununna esiintyy Suomessa pohjoisrajallaan, ja plastisuus voi auttaa sitä sopeutumaan vallitsevaan ilmastoon ennen geneettisten muutosten tapahtumista. Kuten Leinosen ym. (2016) valtakunnallisen yöperhosseurannan ja Suomen Lajitietokeskuksen (Laji.fi) havainnoista voidaan päätellä, havununna on yleistynyt Suomessa viimeisten vuosikymmenien aikana paljon. Fält-Nardmann ym. (2018a) arvioivat havununnan levinneisyysnopeutta hyödyntäen valtakunnallisen yöperhosseurannan havununnahavaintoja. Havununnasaaliiden määrää vertailtiin samoilla pyyntipaikoilla vuosien välillä, ja voitiin arvioida, kuinka nopeasti havununnasaaliita saatiin myös pohjoisemmilta pyyntipaikoilta. Pyydyspaikkojen välisen etäisyyden avulla leviämisenopeus voidaan arvioida, kun pohjoisemman pyydyksen saalismäärä vastaa eteläisemmän saalismäärää. Kahdenkymmenen pyydyspaikan perusteella havununnan leviämisenopeudeksi pohjoiseen arvioitiin 13,7–17,1 kilometriä vuodessa. Sekä Lajitietokeskuksen että yöperhosseurannan havainnot tukevat havununnan runsastumista Suomessa. Havaintomäärien kasvua ei selitä aiempaa tehokkaampi monitorointi, sillä useimpien muiden perhoslajien havaintomäärät ovat pysyneet samalla tasolla kuin aiemminkin. Havununnakanta näyttäisi vakiintuneen jo Keski-Suomen korkeudelle asti, vaikka muutama vuosikymmen sitten se oli harvalukuinen Lounais-Suomessa.

1.6 Ilmastonmuutos ja havununna

Ilmastonmuutos on valtava globaali ongelma, jonka seurauksena keskilämpötilat nousevat ympäri maapalloa (Allen ym. 2018). Myös ääriämpötilojen muutoksia on havaittu globaalilla tasolla, erityisesti minimilämpötilojen nousua (Alexander ym. 2006). Maapallon keskilämpötilan nousun lisäksi muutoksia tapahtuu erityisesti arktisten alueiden talvilämpötiloissa sekä minimilämpötiloissa, jotka voivat olla rajoittavia tekijöitä monelle

hyönteiselle (Neuvonen ym. 1999, Bale ym. 2002, Amunet ym. 2012, Björkman & Niemelä 2015). Björkmanin ja Niemelän (2015) mukaan yleisin syy lajien leviämislle pohjoiseen on niiden talvikuolleisuuden pieneneminen. Lämpötilalla on lukuisia suoria ja epäsuoria vaikutuksia kasvinsyöjähyönteisiin, ja hyönteisten vastetta nousevaan lämpötilaan voi olla vaikea ennustaa (Bale ym. 2002, Battisti 2008, Netherer & Schopf 2010). Bale ym. (2002) selvittivät review-artikkelissaan lämpötilan muuttumisen vaikutuksia hyönteisherbivoreihin ja niiden elinkierto. Lämpötila on tärkein abioottinen kasvinsyöjähyönteisiin vaikuttava tekijä, ja sillä on useita suoria ja epäsuoria vaikutuksia. Lämpötilan muutokset voivat vaikuttaa suoraan hyönteisten kehitykseen, lisääntymiseen ja selviytyvyyteen. Epäsuorasti ne vaikuttavat esimerkiksi ravinnonsaantiin ja lajien välisiin vuorovaikutussuhteisiin. Esimerkiksi Jepsen ym. (2011) havaitsivat lämpimien keväiden parantavan mittarilajin synkroniaa sen ravintokasvien kanssa. Mittarin toukille oli tarjolla optimaalista ravintoa, ja massaesiintymät ovat sen seurauksena yleistyneet. Balen ym. (2002) kanssa samankaltaisia havaintoja on tehnyt myös Battisti (2008) artikkelissaan ilmastomuutoksen vaikutuksesta hyönteisiin. Ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvu heikentää puiden lehtien ja neulasten ravintoarvoa, ja osa hyönteisistä reagoi tähän lisäämällä syöntiään. Tämä voi johtaa metsätuhohyönteisten kohdalla entistä suurempiin tuhoihin. Ilmastomuutoksen vaikutukset ovat kuitenkin usein yksilöllisiä kullekin lajille, jolloin ennusteiden tekeminen on hankalaa.

Suomessa on tehty ilmastomallinnuksia erilaisten päästöskenaarioiden pohjalta, ja skenaariosta riippumatta lämpeneminen Suomessa on mallinnuksien mukaan maailmanlaajuisista keskiarvoa nopeampaa, erityisesti talvisin (Mikkonen ym. 2015, Ruosteenoja ym. 2016). Ruosteenojan ym. (2016) tekemän mallinnuksen mukaan ilmastoskenaariot RCP4.5 toteutuminen johtaisi 2080-luvulle mentäessä siihen, että Keski-Suomessa vallitsisi likimain Puolan nykyiset ilmasto-olosuhteet. Laajimmat havununnatuhot ovat sattumalta tapahtuneet juuri Puolan alueella (Schönherr 1985, Bejer 1988). Mallinnuksia havununnan levinneisyyden muuttumisesta on tehty Suomessa ja Venäjällä (Vanhanen ym. 2007, Yasyukevich ym. 2015), ja kummassakin on havaittu samansuuntaista kehitystä. Tulevina vuosikymmeninä potentiaalinen alue, jolle havununna voisi levitä, jatkuu Suomessa erityisesti pohjoiseen jopa satoja kilometrejä. Venäjällä ennustettu leviäminen on hyvin samankaltainen, havununnille sopivien ilmasto-olojen laajentuessa itään ja pohjoiseen.

Mallinnukset havununnan leviämisestä pohjoiseen on kuitenkin tehty käyttäen keskilämpötilojen nousua, mutta mahdollisesti tuhohyönteisten talvehtimiselle merkittävien minimilämpötilojen merkitystä ei ole huomioitu (Neuvonen ym. 1999). Fält-Nardmann ym. (2018a) mallinsivat havununnan havaittua leviämistä suhteessa sen elinkierron eri vaiheissa vaikuttaviin minimilämpötiloihin. Tutkimuksessa muodostettiin kolme säämuuttujaa, jotka vastasivat havununnan elinkierron eri vaiheissa kohtaamia lämpötiloja. Muuttujat kuvasivat talven minimilämpötilaa, kevään- alkukesän lämpötilaa ja loppukesän lämpötilaa, joilla on mahdollisesti merkitystä havununnan talvehtimiseen, toukkien kehitykseen ja aikuistumiseen sekä lisääntymislentoon. Tutkimuksessa vertailtiin keskenään ajanjaksoja 1961–1989 ja 1990–2013 lämpötilamuutosten havaitsemiseksi. Merkitseviä muutoksia havaittiin erityisesti talven minimilämpötilaa ja loppukesän lämpötilaa kuvaavissa muuttujissa. Mallinuksissa näiden muuttujien selitysarvo oli merkitsevä, vaikka tiettyinä ajanjaksoina merkitsevin muuttuja vaihteli. Selvää kuitenkin on, että erityisesti talven minimilämpötilan kohoaminen on mahdollistanut havununnan leviämisen entistä pohjoisemmaksi. Mahdollista on, että myös keski- ja loppukesän korkeammat lämpötilat luovat paremmat sääolot havununnien lennolle ja dispersaalille. Kuten Jensen ja Nielsen (1984) ja Skuhravý (1987) havaitsivat, havununnien lento heikkenee lämpötilan laskiessa, ja lakkaa lähes täysin 10–12°C alapuolella. On kuitenkin muistettava, että havununnanaaraat eivät yleensä lennä pitkiä matkoja ennen munintaa (Bejer 1988). Kesälämpötiloissa tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa havununnien lisääntymisen lisäksi sen toukkavaiheiden kehitykseen, kuten Karolewski ym. (2007) havaitsivat. Toukkien kehitys nopeutui lämpötilan kasvaessa, mutta samalla niiden kuolevuus kasvoi. Fält-Nardmann ja muut (2018b) arvioivat havununnien levinneisyyden pohjoisrajan etenevän 200–300 kilometriä pohjoisemmaksi, kun mallinuksissa otettiin huomioon talven minimilämpötilat, mikä on merkitsevästi vähemmän kuin tulokset, joita Vanhanen ym. (2007) saivat mallinuksissa keskilämpötilojen avulla. Havununna talvehtii munina, joiden pakkaskestävyys on keskimäärin -29°C (Fält-Nardmann ym. 2018b). Mittaukset tehtiin laboratorio-olosuhteissa, jolloin munien alijäähtymispiste saatiin tarkasti mitattua. Fält-Nardmann ym. (2018b) keräsivät ilmastodataa viime vuosikymmeniltä, ja havaitsivat, ettei alle -29°C lämpötiloja ole ollut Etelä-Suomessa enää vuosiin. Tätä minimilämpötilaa käyttäen he muodostivat mallin, jonka avulla havununnan potentiaalinen pohjoisraja Suomessa saatiin selvitettyä.

On kuitenkin muistettava, että luonnollisissa olosuhteissa mikroilmasto vaikuttaa suuresti lämpötiloihin. Lämpötila havununnan munaryppäiden ympärillä voi poiketa paljonkin laajemman alueen lämpötilasta, joiden avulla ilmasto-olosuhteita yleisesti mitataan. Lisäksi toukat munien sisällä voivat kuolla -29°C korkeammissa lämpötiloissa, sillä aina munien tuhoutumiseen ei tarvita niiden alijäähtymistä. Haynes ym. (2014) havaitsivat, että havununnan massaesiintymien syklisyys on harvinaistunut Saksassa 1950-luvun jälkeen, ja tutkimuksen mukaan syynä näyttäisi olevan ilmastonmuutos. Lasch-Born ym. (2016) mallinsivat Saksassa havununnan metsätuhoriskiä metsäalueilla, joilla oli aikaisemmin esiintynyt massaesiintymiä. Kaikilla metsäalueilla havununnatuhojen riski kasvoi vuoteen 2040-luvulle siirryttäessä, mikä mahdollisesti voi johtua yleistyvistä kuivuudesta. Lisäksi tuhoriski kasvoi myös korkeammalla merenpinnasta olevilla metsäalueilla, mikä voi johtua havununnan levittäytymisestä korkeammalle vuoristoon. Lämpenevä ilmasto on mitä oletettavimmin tärkeä tekijä, joka auttaa havununnaa leviämään Suomessa entistä pohjoisemmaksi, ja erityisesti talvien minimilämpötilojen nousua on pidetty tärkeänä tekijänä havununnan nopealle levittäytymiselle Suomessa. Hyönteisten elinkierron evoluutiossa kesänpituudella on kuitenkin suuri merkitys (Kivelä ym. 2013), ja kasvukauden pituus voi rajoittaa hyönteisten esiintymistä pohjoisimmilla alueilla. Hyönteisten elinkierron täydellinen onnistuminen vaatii tarpeeksi pitkän suotuisan ajanjakson, joka voi jäädä liian lyhyeksi siirryttäessä pohjoisemmaksi. Havununnan kohdalla tämä voi osaltaan rajoittaa leviämistä Pohjois-Suomeen kylmien pakkastalvien ohella.

1.7 Tutkimuksen tavoitteet

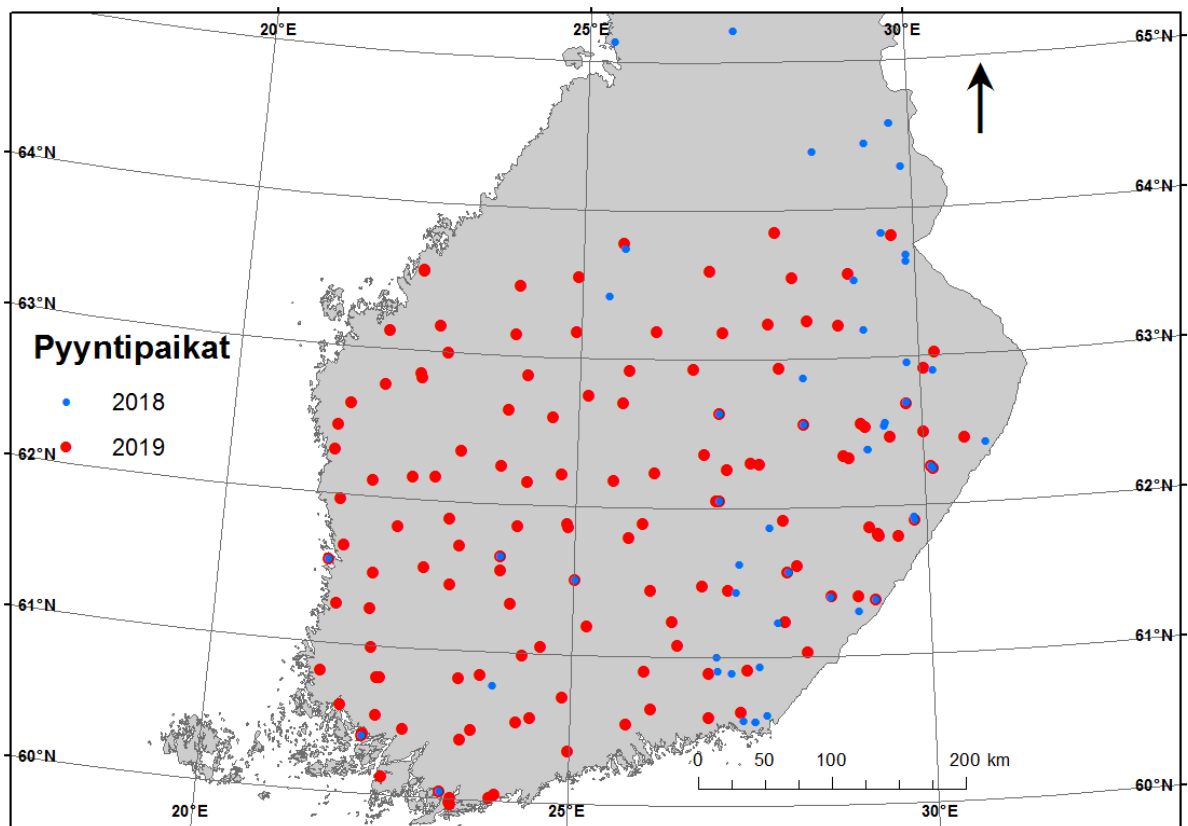
Tämä työ pohjautuu Luonnonvarakeskuksen toteuttaman laajan havununnaseurannan tuloksiin kesältä 2019. Aiempaa yhtä laajaa seurantaa ei Suomessa ole havununnan osalta tehty. Tämän työn tavoitteena on sekä kirjallisuutta että uusia maastossa kerättyjä tuloksia hyväksikäyttäen luoda pohjatietoa havununnapopulaatiosta Suomessa sekä kartoittaa mahdollisia riskialueita, joissa havununnapopulaatio olisi tarpeeksi suuri aiheuttamaan metsätuhoja lähivuosien aikana. Mielenkiinnon kohteena on myös se, kuinka pohjoisessa havununnaa tavataan sekä onko sääolosuhteissa tapahtunut muutoksia, jotka selittäisivät sen nopeaa runsastumista viime vuosikymmenien aikana. Lisäksi työssä tutkitaan

havununnan levinneisyshistoriaa Suomessa Laji.fi-tietokantaan kirjattujen havaintojen avulla. Tässä hypotesina on, että alueilla, joissa havununnakanta on korkein, talvilämpötilat eivät ole alittaneet sen munien kylmänkestävyyttä useampaan vuoteen. Tämä mahdollistaisi havununnan munien talvehtimisen, ja vakiintuneen populaation syntymisen.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

Kesän 2019 aikana havununnapyydyksiä vietiin ympäri Etelä- ja Keski-Suomea yhteensä 137 kappaletta (**Kuva 3**). Tarkoituksena oli luoda kattava pyydysverkosto, jonka avulla saataisiin tietoa vakiintuneesta havununnapopulaatiosta ja sen pohjoisrajasta.



Kuva 3. Kartta kesän 2019 ja 2018 pyydysten sijainnista. Kesällä 2018 pyyntiä kokeiltiin lähinnä Itä-Suomessa, ja kesälle 2019 pyydysverkkoa laajennettiin Etelä- ja Länsi-Suomeen.

Kesällä 2018 Luonnonvarakeskus kokeili pienialaista havununnapyyntiä 58 feromonipyydyksen avulla Itä-Suomessa, mutta koko Suomen laajuista monitorointia ei ole aiemmin tehty. Pohjois-Suomi jätettiin havununnapyynnin ulkopuolelle, sillä Lajitietokeskuksen havaintopalvelun (Laji.fi) havaintojen ja kesän 2018 havununnaseurannan perusteella oli oletettavaa, ettei merkittäviä havununnasaaliita saada Vaasa-Kuopio-Joensuu akselin pohjoispuolelta. Suurin osa pyydyksistä asetettiin tutkimusluvalla Metsähallituksen omistamille metsäalueille, ja loput yksityisomistuksessa oleville metsäpalstoille. Pyydysten ripustamiseen oli hankittu maanomistajien luvat, ja pyydyksien yhteyteen laitettiin pyynnistä kertova infolappu. Pyydykset vietiin lähtökohtaisesti kuusi- tai mäntyvaltaisiin metsäkuvioihin sekä turve- että kivennäismaille. Pyyntialueet valittiin, ja niiden rakennetta tarkasteltiin etukäteen ilmakuvista sekä Luken tuottamasta Valtakunnan metsien inventoinnin monilähde -aineistosta (mVMI), mutta muutamissa kohteissa tiedot eivät olleet ajan tasalla. Tästä johtuen muutamalla pyyntipaikalla pyydykset jouduttiin ripustamaan esimerkiksi hakkuuaukon säästöpuuryhmään, mutta kuitenkin lähelle yhtenäisen metsän rajaa. Käytännön maastotyöskentelyä helpottaen pyydykset asetettiin kohteisiin, joiden lähelle oli edes välttävä tieyhteys.

2.2 Havununna-aineiston keruu

Havununnan levinneisyshistoriaa Suomessa tutkittiin Lajitietokeskuksen Laji.fi-tietokannasta ladattujen havaintojen perusteella (Suomen Lajitietokeskus/FinBIF. <http://tun.fi/HBF.38689> (haettu 19.11.2019)). Tietokannassa on havaintoja jo 1950-luvulta asti. Vaikka julkisten tietokantojen käyttö tutkimuksessa ei ole täysin ongelmaton, tarjoavat ne paljon helposti saatavaa tietoa laajalta alueelta (Dickinson ym. 2010). Ladatut havaintoaineistot käsiteltiin Excel (2010) -ohjelmalla, ja lopulliset karttaesitykset tehtiin ArcMap 10.6 -ohjelmalla.

Pyydykset ja feromonit havununnien pyyntiin tilattiin itävaltalaiselta Witasek-yritykseltä, joka myy lukuisia tuhohyönteisansoja ja feromoneja Euroopassa. Pyydyksinä käytettiin WitaTrap-suppilopyydyksiä, jotka pyytävät perhosia elävänä siten, että pyydyksen pyyntiteho ei heikkene saalismäärän kasvaessa (**Kuva 4.**). Feromonina käytettiin LymoWit-valmistetta, joka houkuttelee havununnakoiraiden lisäksi myös lehtinunna. Valmistajan

mukaan feromonin pyyntiteho kestää noin kuusi viikkoa, mutta sääolosuhteet voivat lyhentää sen käyttöaikaa. Feromonit pidettiin viileässä ennen pyynnin aloittamista niiden pyyntitehon säilyttämiseksi. Pyydykset vietiin maastokohteisiin heinäkuun alkupuolella 5.–18.7. välisenä ajankohtana. Pyydykset kasattiin valmiiksi maastossa, ja ne ripustettiin puihin noin kahden metrin korkeudelle (**Kuva 5.**). Kuten Skuhravý (1987) ja Wang ym. (2017) havaitsivat, feromonipyydykset toimivat optimaalisesti tällä korkeudella. Pyydykset ripustettiin metsätyypistä riippuen roikkumaan sopivalla korkeudella kasvavista oksista tai sidottiin puun rungon ympärille tukevasti. Pyydykset asetettiin mahdollisimman pystysuoraan perhosten karkaamisen estämiseksi. Etelä-Suomen havununnapydykset tyhjennettiin ensimmäisen kerran 14.–15.7., jonka jälkeen tarkistus tehtiin noin kahden viikon välein. Pohjoisemmat ansat tarkistettiin vain kerran pyyntikauden aikana. Pohjoisempana ei ollut odotettavissa suuria perhossaaliita, minkä vuoksi välitarkastusta ei ollut tarpeen tehdä. Suurin osa pyydyksistä kerättiin maastosta elokuun aikana, jolloin ne olivat pyynnissä neljästä kuuteen viikkoa, mutta muutama pyydys oli maastossa syyskuun alkuun asti. Pyynnin tuloksia käsiteltiin Excel (2010) -ohjelmalla, ja karttaesitykset tehtiin ArcMap 10.6 -ohjelman avulla.



Kuva 4. Havununnakoiraita suppiloppydyksen keräysastiassa. Suppiloppydyksen pyyntiteho ei heikkene saalismäärän kasvaessa. Huomioitavaa on, että useissa pyydyksissä oli myös runsaasti ampiaisia (*Vespidae* sp.). Valokuva: Markus Melin (Luke).



Kuva 5. Havununnapyydys ripustettuna kuusen oksaan noin kahden metrin korkeuteen. Pyydykset ripustettiin ensisijaisesti havupuiden oksiin. Valokuva: Markus Melin

2.3 Ilmastoön liittyvien muutosten tutkiminen

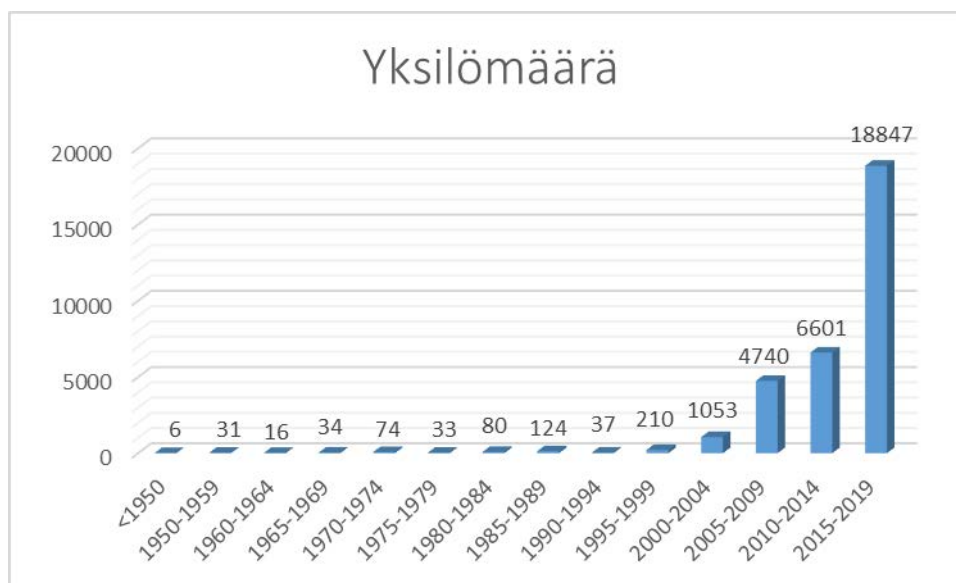
Havununna on yleistynyt erittäin nopeasti Suomessa 1990-luvulta asti (Leinonen ym. 2016), minkä vuoksi mielenkiinnon kohteena oli myös ilmastossa tapahtuneet muutokset viimeisten vuosikymmenten aikana. Ilmatieteenlaitoksen tarjoamasta sääaineistosta (Venäläinen ym. 2005) poimittiin havaintoaineistoja kuudelta havaintoasemalta (Eura, Hyvinkää, Taipalsaari, Hartola, Kuopio, Seinäjoki) vuosilta 1961–2018. Havaintoasemat valittiin havununnapyyntin alueelta siten, että niiden muodostama kuvio kattaisi pyyntialueesta mahdollisimman paljon. Lisäksi valintaan vaikutti kyseisten paikkakuntien lähistöllä olleiden pyydysten havununnasaalis. Jokaisesta havaintopaikasta tutkittiin talven minimilämpötiloja käyttäen raja-arvona -29°C , jonka on todettu olevan havununnien munien alijäähtymispiste (Fält-

Nardmann ym. 2018a). Havaintopisteille laskettiin vuosittain niiden päivien lukumäärä, jolloin lämpötila laski alle -29°C , ja niistä piirrettiin havainnoivat kuvaajat. Lisäksi kolmen havaintopaikan (Säkylä, Taipalsaari, Kuopio) kesälämpötiloissa tapahtuneita muutoksia tutkittiin valitsemalla havununnan lennolle tärkeitä lämpötiloja, jotka Skuhrový & Zmr (1981) havaitsivat tutkimuksessaan. Havununnan lentoajalta heinä- ja elokuussa laskettiin ne päivät, jolloin minimilämpötila on ollut alle 10°C ja päivät, jolloin keskilämpötila on ollut yli 18°C . Muutoksia vastaavanlaisten päivien lukumäärissä vuosina 1961–2019 tarkasteltiin kuvaajien avulla. Kaikki laskutoimenpiteet ja kuvaajat tehtiin Excel (2010) -ohjelmalla.

3. Tulokset

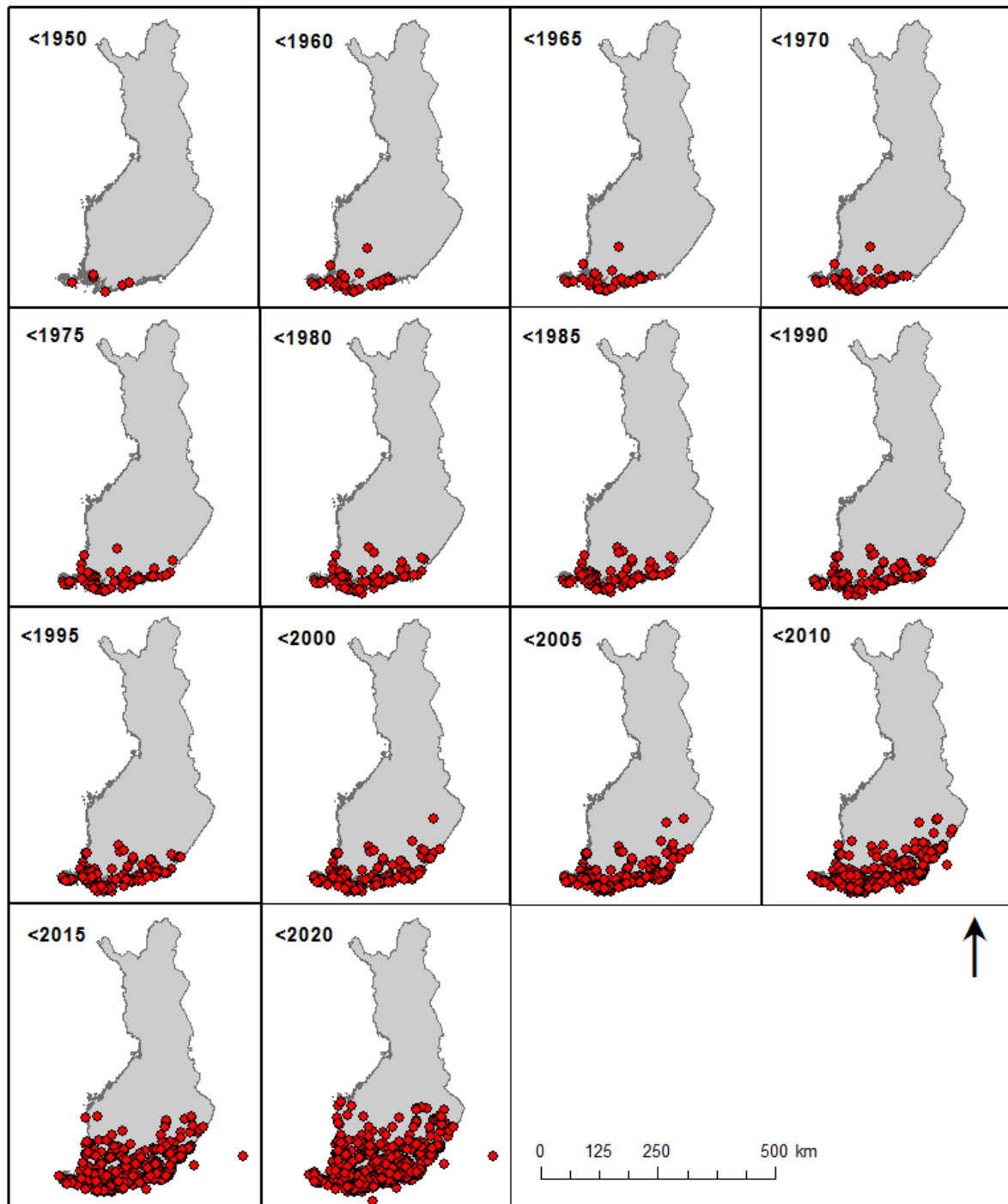
3.1 Havununnan levinneisyshistoria

Lajitietokeskuksen tietokannan havainnoista ensimmäiset ovat jo 1950-luvulta, ja havaintoja on kirjattu vuosittain 1960-luvulta asti. Jos lasketaan havaintoaineistosta havainnoidut yksilömäärät, niin 2010-luvun havaintomäärät ovat yli nelinkertaistuneet edelliseen vuosikymmeneen verrattuna (2000–2009). Jos verrataan 2010-luvun havaintomääriä vielä aiemman vuosikymmenen havaintoihin (1990–1999), havaitaan, että yksilömäärä on yli 100 kertaistunut (**Kuva 6**).



Kuva 6. Kuvaajaan piirretty Laji.fi-havaintojen yksilömäärät 1950-luvulta lähtien. Yksilömäärät jaettu 1960-luvulta lähtien viiden vuoden välein. Huomaa, että kahden ensimmäisen aikajakson pituus poikkeaa muista vähäisten havaintomäärien vuoksi.

Havainnoista luoduista karttaesityksistä voidaan selvästi havaita havununnahavaintojen painottuminen rannikkoseudulle 1980-luvulle asti, jonka jälkeen havaintoja on enemmän myös sisämaasta (**Kuva 7**). Erityisesti 2000-luvulla havaintoja on kirjattu entistä pohjoisempana, ja tämän hetkinen levinneisyys Suomessa näyttää olevan karkeasti Vaasa-Kuopio-Joensuu linjan eteläpuolella. Havainnot ovat siis yleistyneet ja niissä on havaittu entistä enemmän havununnayksilöitä.

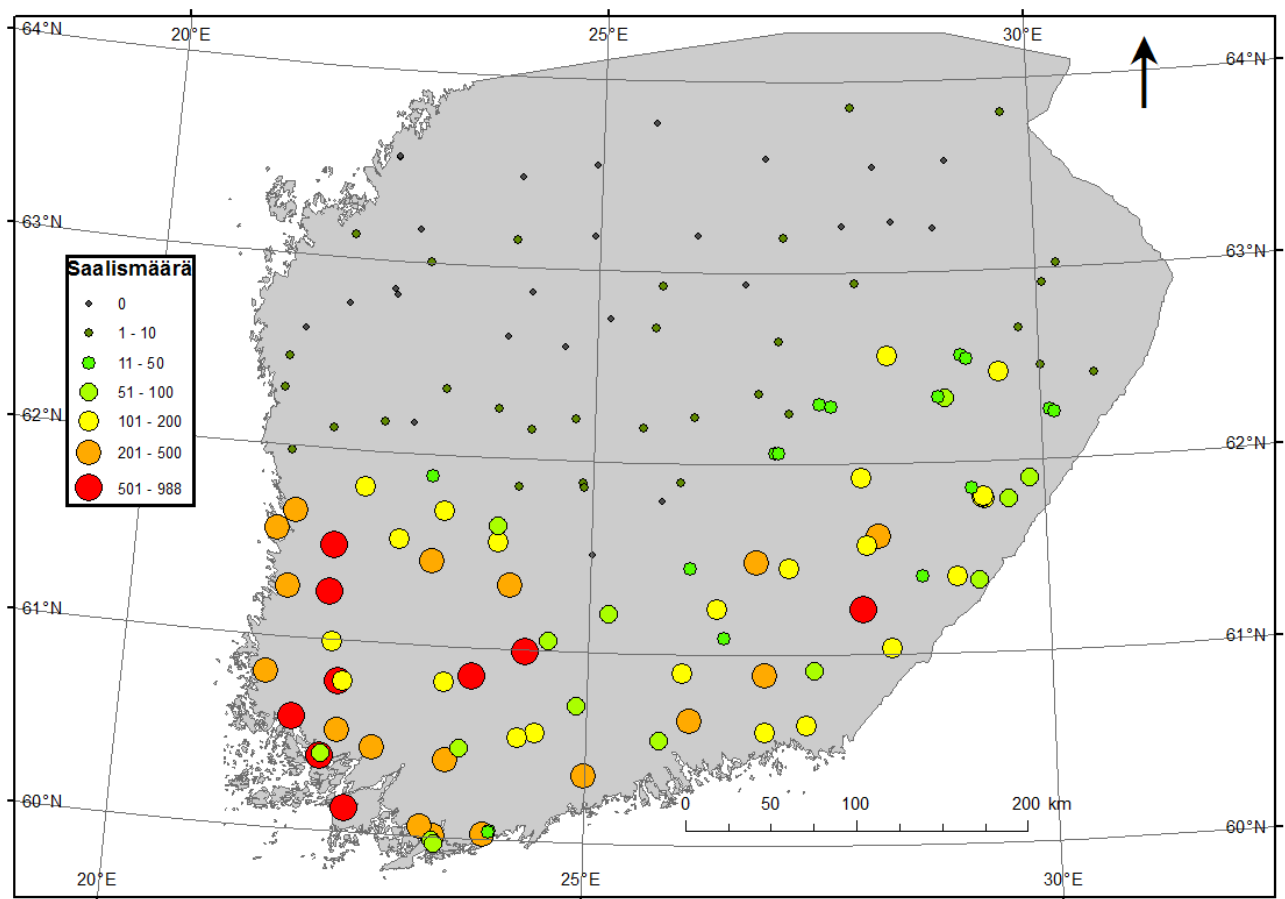


Kartta 7. Laji.fi-havaintopalveluun kirjatusta havununnahavainnoista tehty karttaesitys 1950-luvulta lähtien. Viimeisessä havaintokartassa on havaintokertymä koko historian ajalta. Kahden ensimmäisen kartan välillä on pidempi ajanjakso johtuen havaintojen vähyydestä, mutta 1960-luvulta havainnot on piirretty viiden vuoden välein. Erityisesti viimeisen vuosikymmenen aikana on havaittavissa selvä lisääntyminen sisämaan havaintomäärissä.

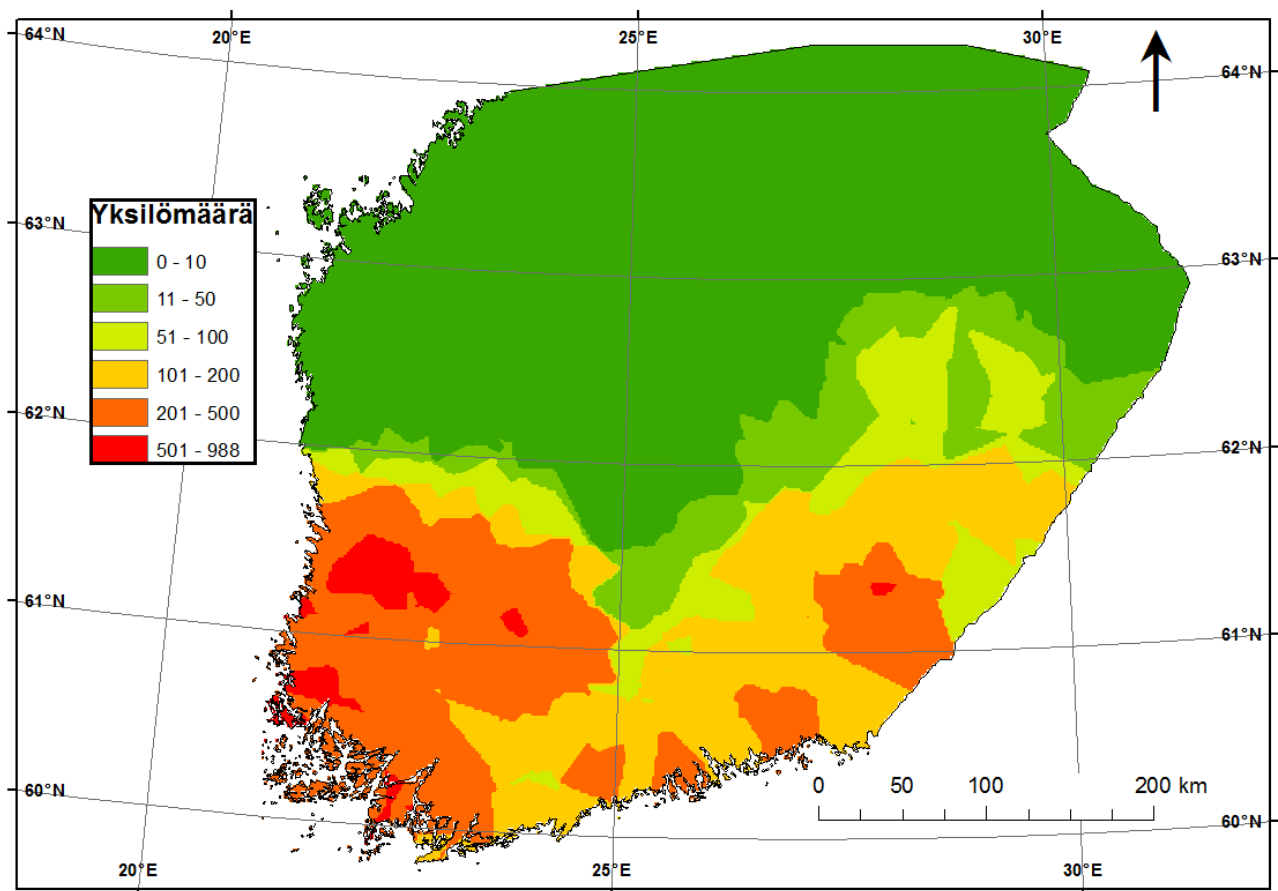
3.2 Saalismäärät

Kesällä 2019 saaliiksi saatiin 16 776 havununnaa 137 feromonipyydyksen avulla. Suurimmat saalismäärät saatiin Lounais- ja Kaakkois-Suomesta. Ensimmäisellä tarkistuskerralla 14.–15.7

havununnia ei löytynyt pyydyksistä, mutta kaksi viikkoa myöhemmin lähes kaikissa Etelä-Suomen pyydyksissä oli perhosia. Suurin saalismäärä 988 yksilöä saatiin Kaakkois-Suomesta Taipalsaaren alueelta ja toiseksi suurin saalismäärä 899 yksilöä tuli saaliiksi Lounais-Suomesta Säkylän lähettäviltä. Yleisesti pyydysten saalismäärä oli korkeampi Lounais-Suomessa kuin Kaakkois-Suomessa, ja pieneni siirryttäessä pohjoiseen. Itä-Suomessa saatiin kuitenkin suurempia saaliita pohjoisempaa kuin Länsi-Suomesta, vaikka Lounais-Suomessa saalismäärät olivatkin kaikkein korkeimpia. Pohjoisimmat havununnasaaliit tulivat läheltä 64° N- leveyspiiriä seurannan pohjoisimmista pyydyksistä. Kuitenkin 63–64° N- leveyspiirien välisistä pyydyksistä suurin osa oli täysin tyhjiä, tai saalista oli vain muutama havununnayksilö. 63° N- leveyspiirin eteläpuolella saalista oli lähes kaikissa pyydyksissä, ja saalismäärät nousivat jyrkästi 62° N- leveyspiirin eteläpuolella, erityisesti Länsi-Suomessa (**Kuva 8**). Pyydysten saalismäärien perusteella tehtiin interpolointi, joka näyttää oletetun havununnasaaliin koko pyyntialueella (**Kuva 9**). Interpoloinnin avulla havaitaan Länsi-Suomessa terävä saalismäärien lasku pohjoiseen siirryttäessä, kun Itä-Suomessa saalismäärät laskevat vähitellen.



Kuva 8. Pyydyspaikkojen saalismäärä kesän 2019 seurannassa. Havununnasaaliit olivat korkeimmat Lounais-Suomessa, mutta myös Kaakkois-Suomesta saatiin paikoitellen suuria saaliita. Havununnia saatiin saaliiksi lähes 64° N- leveyspiirin korkeudelta, mutta saalismäärät olivat melko pieniä jo 62° N- leveyspiirin pohjoispuolella. Huomattavaa on, että Länsi-Suomessa havununnasaaliit laskivat erittäin nopeasti siirryttäessä pohjoiseen, kun taas Itä-Suomessa saalismäärät laskivat vähitellen entistä pohjoisempana.



Kuva 9. Pyydysten saalismäärien perusteella tehty interpolointi havununnatiheydestä Suomessa. Saalismäärien perusteella kanta on tihein Lounais-Suomessa, ja harvenee nopeasti siirryttäessä pohjoiseen ja koilliseen. Kaakkois-Suomessa on paikoitellen lähes yhtä korkea kanta kuin Lounais-Suomessa, eikä saalismäärien väheneminen tapahdu yhtä selvärajaisesti kuin länsirannikolla.

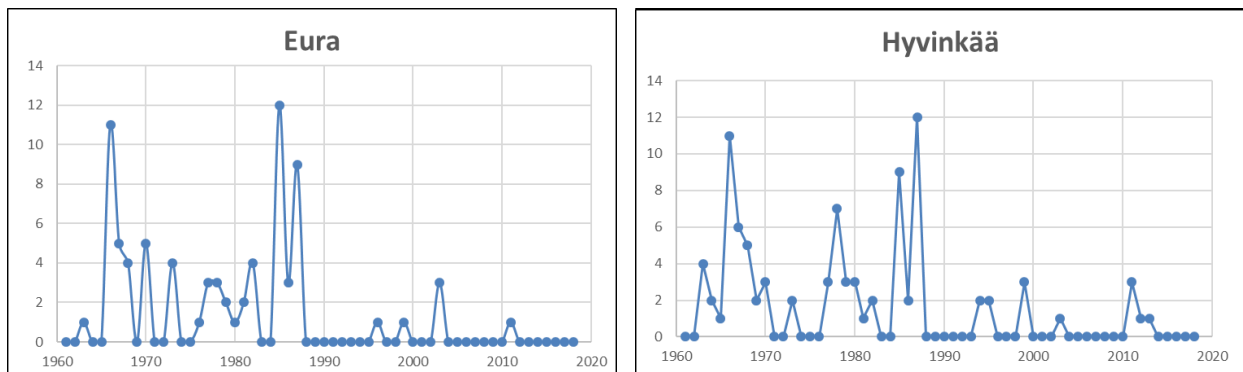
3.3 Metsätuhojen riskialueet

Havununnasaaliiden perusteella metsätuhojen kannalta pahimmat riskialueet sijaitsevat Lounais-Suomessa, ja paikoin myös Kaakkois-Suomessa. Metsätuhoriski on suurin niillä alueilla, joilla havununnien massaesiintyminen olisi mahdollista. Vaikka kesän 2019 pyynneissä ei ylitetty Saksassa käytettyä raja-arvoa (1000 havununnaa/pyydys) intensiivisen seurannan aloittamisesta (Hielscher & Engelmann 2012), niin sitä oltiin lähellä. Seurannan perusteella voisi olla tarpeellista jatkaa havununnapopulaation kehityksen seurantaan alueilla, joissa populaatiotiheys feromonipyyntin perusteella oli korkea (Säkylä, Taipalsaari). Näillä alueilla paikallisten metsätuhojen syntyminen voi olla mahdollista, mikäli havununnapopulaatio jatkaa kasvuaan. Kyseisillä alueilla havununnapopulaation arviointiin käytettyjen perinteisten menetelmien käyttö voisi onnistua populaation korkean tiheyden takia.

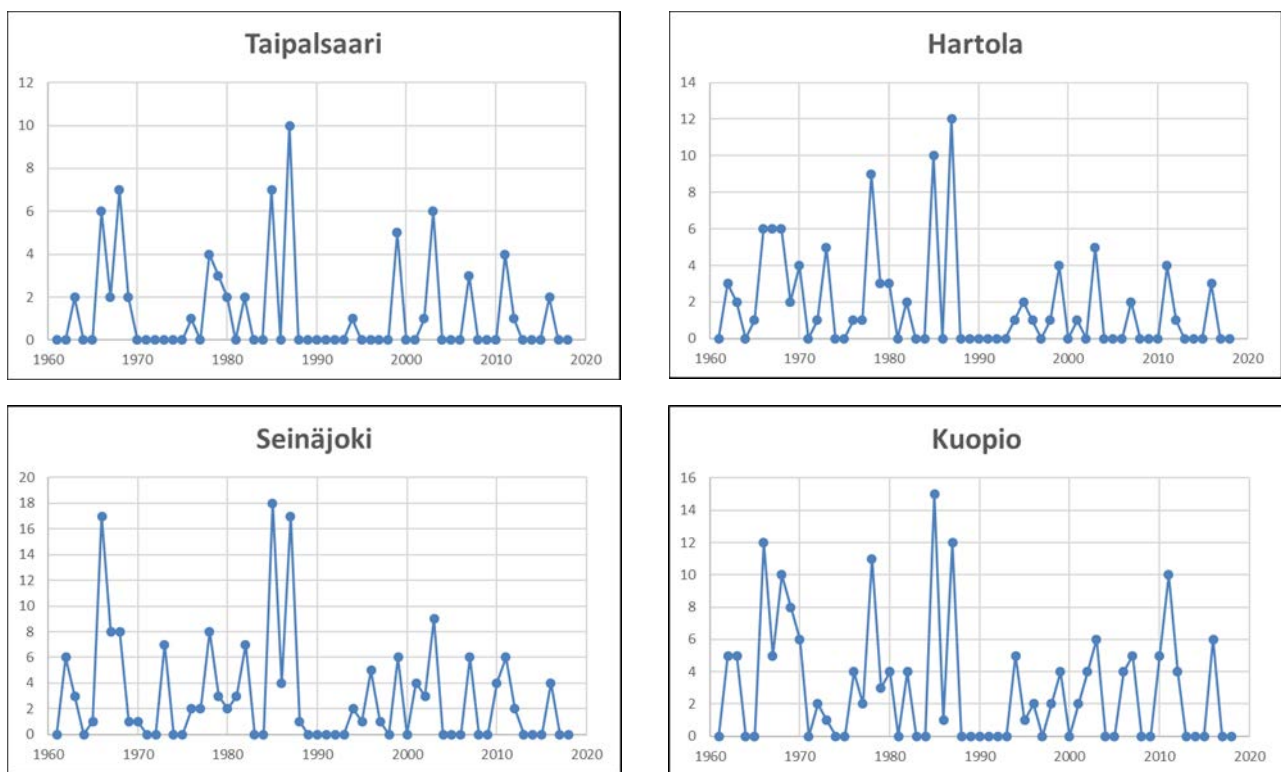
3.4 Muutokset ilmastossa

3.4.1 Talvilämpötilat

Eteläisimmillä paikkakunnilla oli selvästi havaittavissa, että 1960-luvulta vuoteen 2018 siirryttäessä kylmien talvien lukumäärä on vähentynyt (**Kuva 10**). Havununnan talvehtimista rajoittavien äärilämpötilojen väheneminen parantaa sen talvehtimista Suomessa ja mahdollistaa vakiintuneiden populaatioiden syntymisen. Pohjoisimmilla paikoilla (**Kuva 11**) alle -29°C talvilämpötiloja on ollut tasaisesti 1960-luvulta lähtien, mutta myös 1990-luvulta vuoteen 2018 asti havununnan talvehtimista rajoittavia lämpötiloja on esiintynyt lähes vuosittain useampia.



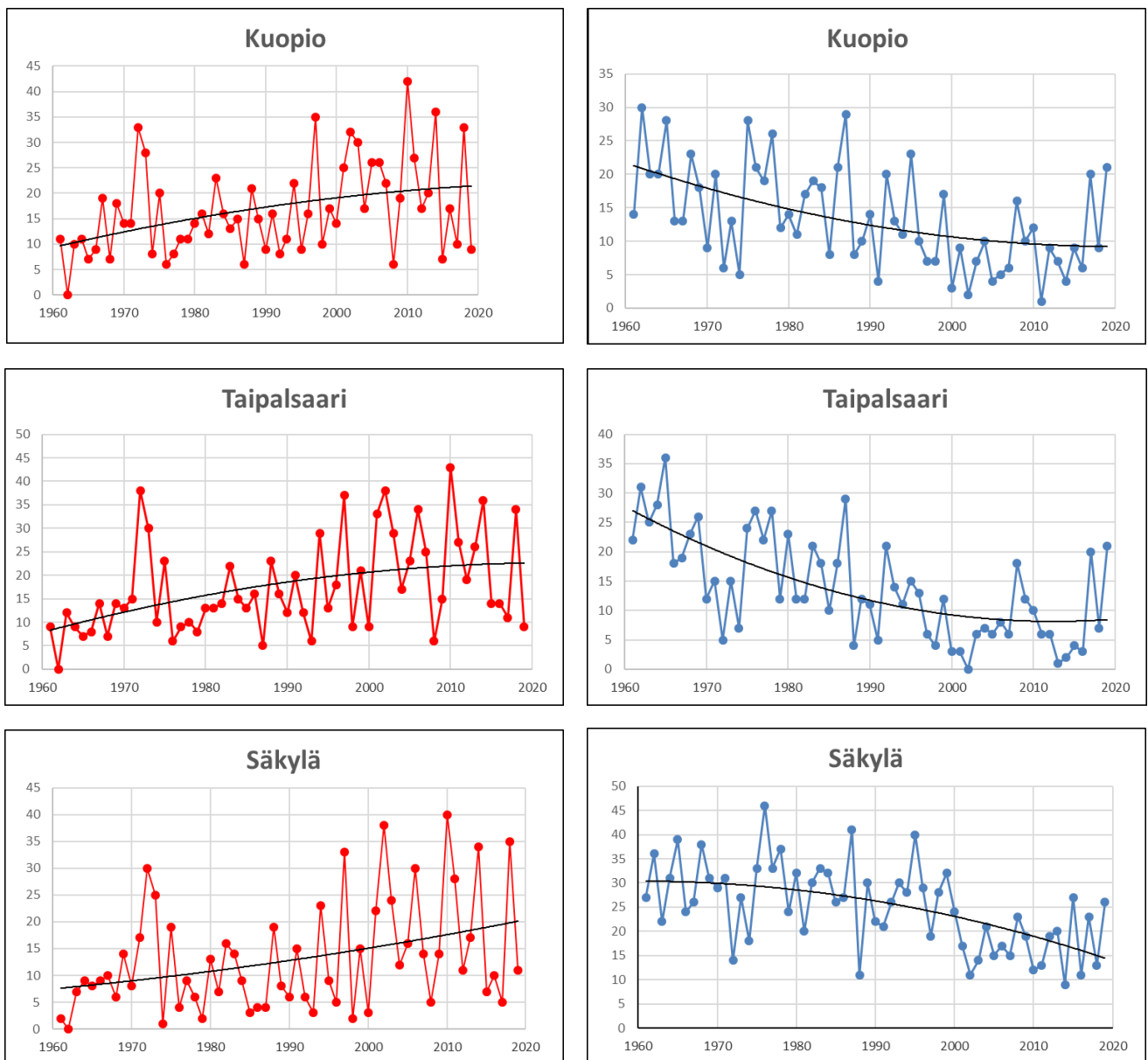
Kuva 10. Euran ja Hyvinkään mittauspisteillä niiden päivien lukumäärä, jolloin päivän alin lämpötila on ollut alle -29°C . Kuvaajista havaitaan, että 1990-luvun jälkeen ankaria pakkaspäiviä on ollut vain muutamia tai ei lainkaan. Pakkaspäivien väheneminen voi pienentää havununnan talvikuolleisuutta.



Kuva 11. Taipalsaaren, Hartolan, Kuopion ja Seinäjoen mittauspisteillä 1961–2018 niiden talvipäivien lukumäärä, jolloin päivän alin lämpötila on ollut alle -29°C . Kuvaajista havaitaan, että havununnan talvehtimista rajoittavia pakkaspäiviä on ollut useita aivan viime vuosiin asti erityisesti Kuopiossa ja Seinäjoella, mutta myös Hartolassa ja Taipalsaarella. Huomioi erilainen mittakaava kuvaajien y-akseleissa.

3.4.2 Kesälämpötilat

Vuosina 1961–2019 havununnan lisääntymislennon kannalta tärkeiden lämpötilojen yleisyydessä näyttäisi tapahtuneen muutoksia. Erityisesti keskilämpötilaltaan yli 18°C päivien lukumäärässä näyttää olevan 2000-luvulla entistä enemmän vuosien välistä vaihtelua. Seuranta-aikana Kuopiossa ja Säkylässä tällaisten päivien kolme suurinta lukumäärää on mitattu 2010-luvulla, mutta vuosittainen vaihtelu on suurta (**Kuva 12**). Minimilämpötilaltaan alle 10°C kesäpäivien lukumäärä havununnan lentoajalta näyttäisi vähentyneen seurantajakson aikana, ja erityisesti 2010-luvulla, mutta viime vuosien viileät kesät näkyvät kuvaajissa selvästi. Kesä 2019 oli suhteellisen koea, mikä näkyy kuvaajissa selvästi. Lämpimien kesäpäivien määrä vuosien välillä näyttäisi vaihtelevan enemmän kuin aiemmin, mutta trendi näyttää olevan kasvava. Viileiden kesäpäivien lukumäärässä on havaittavissa vähenevä trendi 1960-luvulta.



Kuva 12. Kuvaajissa ajanjaksolta 1961–2019 havununnan lisääntymislennolle merkittäviä lämpötilarajoja. Vasemmalla punaisella piirretty niiden kesäpäivien lukumäärä, jolloin päivän keskilämpötila on ollut yli 18°C. Oikealla on puolestaan niiden päivien lukumäärä, jolloin päivän minimilämpötila on ollut alle 10°C. Huomioi eri mittakaava kuvaajien y-akseleissa.

4. Pohdinta

4.1 Havununnan levinneisyys Suomessa

Havununnan levinneisyshistorian selvittäminen havaintoportaleihin kirjattujen havaintojen avulla osoittaa, että havununnahavainnot ovat yleistyneet huomattavasti 1990-

luvun jälkeen, ja laji on levittäytynyt rannikkoseudulta syvemmälle sisämaahan. Vaikka ensimmäiset havainnot havununnista Suomessa ovat jo 1950-luvulta, niin niiden nopea yleistyminen tapahtui vasta vuosikymmeniä myöhemmin. Havununnahavaintojen määrän yleistyessä myös havaitut yksilömäärät ovat kasvaneet räjähdysmäisesti 2010-luvulle tultaessa. Havununnayksilöitä on havaittu vuodesta 2005 eteenpäin noin 30 kertaa enemmän kuin vuosina 1950–2004 yhteensä. Tämä tarkoittaa siis, että havununnahavaintoja on tehty aiempaa enemmän, ja yhdessä havainnossa on kirjattu entistä enemmän havununnayksilöitä.

Kesän 2019 havununnapyynti osoittaa, että havununna on vakiintunut Suomeen jo Vaasa-Kuopio-Joensuu linjan eteläpuolelle, mutta yksilömäärät ovat suhteellisen pieniä jo Lounais- ja Kaakkois-Suomen ulkopuolella. Havununnia saatiin saaliiksi myös kyseisen linjan pohjoispuolelta, ja kesällä 2019 saatiinkin pohjoisin varmistettu havununnahavainto Suomesta. Saalismäärien perusteella ei voida kuitenkaan puhua vakiintuneesta populaatiosta edellä mainitun linjan pohjoispuolella, sillä saalis oli vain muutamia yksilöitä, joiden voidaan olettaa dispersoineen etelämpää. Etelä-Suomessa havununnakanta näyttäisi pyynnin perusteella olevan jo selvästi vakiintunut, mikä tarkoittaa, että havununnat lisääntyvät ja talvehtivat Suomessa. Saalismäärät olivat niin suuria, ettei niitä voida selittää dispersaalin avulla. Erityistä huomiota herätti Länsi-Suomessa havununnasaaliiden erittäin nopea väheneminen muutaman sadan kilometrin matkalla. Lounais-Suomessa saalismäärät olivat yleisesti koko maan korkeimpia, mutta siirryttäessä vain vähän matkaa pohjoiseen saalismäärät tippuivat todella nopeasti. Itä-Suomessa havaittiin myös havununnasaaliiden pientymistä pohjoiseen siirryttäessä, mutta muutos tapahtui hitaammin. Itä-Suomesta saatiinkin korkeampia saalismääriä pohjoisempaa kuin Länsi-Suomesta. Kyseinen havainto on mielenkiintoinen, sillä esimerkiksi talvien olettaisi olevan ankarampia mitä kauemmas Itämerestä siirrytään. Kuitenkin havununnakanta näyttäisi Itä-Suomessa olevan korkeampi leveyspiirien 62–63° N välisellä alueella kuin Länsi-Suomessa. Tätä etelämpänä saaliit olivat taas suurempia länsirannikolla kuin vastaavilla korkeuksilla Kaakkois-Suomessa. Havununnasaaliita saatiin lähes 64° N -leveyspiirin korkeudelta, mikä on pohjoisin havainto kuin yksikään Laji.fi-tietokantaan kirjattu. Saalista saatiin pyyntiverkoston kahdesta pohjoisimmasta ansasta, minkä vuoksi havununnan esiintymisen pohjoisrajaa ei voida arvioida luotettavasti. Vaikka pohjoisimpien havaintojen

eteläpuolella oli lähes 100 kilometrin levyinen vyöhyke ilman saalista, olisi havununnia voitu saada saaliiksi myös pohjoisempaa kuin mitä pyydettiin. Tämän vuoksi pyyntiverkostoa olisi tarpeen jatkossa laajentaa myös pohjoiseen, jolloin levinneisyyden pohjoisraja voitaisiin luotettavammin arvioida ja seurata leviämismisnopeutta pohjoiseen.

Pyynnissä saatiin yhteensä saaliiksi lähes 17 000 havununnayksilöä, mikä on melkein yhtä paljon kuin viimeisen viiden vuoden aikana Laji.fi-havaintoportaaliiin kirjattujen havununnien lukumäärä yhteensä. Tämä kertoo osaltaan käytettyjen feromonipyydysten tehokkuudesta, mutta myös todellisesta havununnakannasta pyyntialueella. Havaintomäärät eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia, sillä tehokasta feromonipyyntiä ei ole aiemmin tehty Suomessa. Pyynnin aloitusajankohta oli optimaalinen, sillä pyydykset olivat maastossa ennen kuin havununnien lentoaika alkoi. Ensimmäisellä Etelä-Suomen pyydysten tarkistuskerralla 14.–15.7 yhdestäkään pyydyksestä ei löytynyt havununnia, mutta pari viikkoa myöhemmin niitä oli jokaisessa. Havununnien lentoaika näyttäisi olevan Suomessa lähes samanlainen kuin Saksassa on havaittu (Hielscher & Engelmann 2012), vaikka Saksassa päälentoaika alkaa jo 9.7.. Kesän 2019 havununnapyynti onnistui luomaan hyvää pohjatietoa Suomen havununnakannasta, ja mahdollistaa järjestelmällisen monitoroinnin aloittamisen. Metsien terveyden kannalta tärkeä kysymys liittyy havununnan metsätuho potentiaaliin, mihin oltiin osaltaan hakemassa vastauksia havununnapyynnin avulla. Pyynnin avulla metsätuho riskialueet saatiin kartoitettua helpoimmin, ja näiden riskialueiden monitorointiin voidaan keskittyä tehokkaammin. Havununnapyynnin tuloksena havaittiin, että tiheimmän kannan alueella Kaakkois- ja erityisesti Lounais-Suomessa havununnan aiheuttamat metsätuhot ovat mahdollisia. Saalismäärät lähes ylittivät Saksassa asetetun 1000 yksilön rajan, jonka ylityksen jälkeen siellä aloitetaan tarkempi monitorointi (Hielscher & Engelmann 2012). Monitoroinnissa käytetyt raja-arvot vaihtelevat eri valtioiden välillä, ja esimerkiksi Romaniassa raja-arvot vaihtelevat metsäalueen valtapuuston iän mukaan (Stancă-Monica ym. 2018). Suomen olosuhteisiin sopivia arvoja ei ole asetettu, ja seurannalle ei ole vielä referenssiaineistoa Suomesta. Suomi poikkeaa metsätyypiltään Keski-Euroopan muista valtioista, ja täällä havununnalle sopivia elinympäristöjä on loputtomasti. On siis hankala arvioida havununnakannalle rajoja, joiden ylityessä olisi syytä ryhtyä lisätoimenpiteisiin massaesiintymien ja metsätuhojen välttämiseksi. Hielscherin ja Engelmannin (2012) esittämä

raja-arvo on kuitenkin hyvä lähtökohta, ennen kuin sopivammat raja-arvot voidaan määrittää.

4.2 Muuttuneen ilmaston vaikutus

Havununnan talvehtimisen ja lisääntyminen kannalta tärkeiden lämpötilojen yleisyyden selvittäminen oli yksi mielenkiinnonkohde havununnan nopean yleistymisen vuoksi. Erityisesti talvehtimisen minimilämpötilojen määrä on vähentynyt Etelä-Suomessa, mikä parantaa havununnien talvehtimisselviytyvyyttä. Yllättävää kuitenkin oli, että Kaakkois-Suomessa talvehtimistä rajoittavia pakkasia esiintyy edelleen lähes jokainen talvi, mutta silti havununnakanta on saalismäärien perusteella vahva. Vuosittain toistuvat äärilämpötilat voivat estää havununnan vakiintumisen Seinäjoen ja Kuopion korkeudella, mikä selittäisi myös puuttuvat ja pienet saaliit feromonipyydyksillä. Mielenkiintoinen havainto on, että vaikka Taipalsaaren lähettyviltä saatiin koko seurannan suurin saalis (988 yksilöä), siellä on kuitenkin säännöllisesti ollut päiviä, joiden minimilämpötila on laskenut alle -29°C . Myös Hartolan lähettyvillä havununnasaalis oli useita satoja yksilöitä, vaikka rajoittavia pakkasia esiintyy yleisesti lähes jokainen talvi. On kuitenkin muistettava, että havununna talvehtii munina, joihin vaikuttaa täysin erilainen mikroilmasto kuin ympäröivään maastoon. Talvehtiminen voi tapahtua esimerkiksi lumen alla suojassa kovilta pakkasilta, minkä vuoksi pakkastalvet eivät rajoita havununnien yleistymistä. Jatkoon kannalta mielenkiintoista olisi lisätä tutkimukseen talvien sademääriä ja lumensyvyyyttä suhteessa seuraavan kesän havununnasaaliiseen. Lumensyvyydellä voi olla positiivinen korrelaatio havununnasaaliisiin, jos se suojaa havununnan munia kovilta pakkasilta.

Erityisesti hyönteisillä kasvukauden pituus on vaikuttanut erilaisten lisääntymisstrategioiden muodostumiseen (Kivelä ym. 2013), ja pohjoisissa olosuhteissa kesänpituus voi rajoittaa hyönteisten esiintymistä. Usein talvea pidetään tuhohyönteisten esiintymistä rajoittavana tekijänä (Björkman & Niemelä 2015), mutta kesänpituus voi kuitenkin rajoittaa esimerkiksi elinkierron onnistumista. Havununnasaaliiden nopea lasku Länsi-Suomessa pohjoiseen siirryttäessä voi olla seurausta merellisen ilmaston vaikutuksesta kesien lämpösummiin, kun taas Itä-Suomessa puolestaan vallitsee enemmän mantereinen ilmasto, jolle tyypillistä on lämpimät kesät ja viileät talvet. Kesälämpötilojen nouseminen voi

parantaa havununnan elinkierron toteutumista ja lisääntymistä, mikä voi selittää sen leviämistä aiempaa pohjoisemmaksi. Kesälämpötiloilla saattaakin olla suurempi merkitys havununnan levinneisyyden rajoittajana kuin aiemmin on oletettu, sillä vaikka Itä-Suomessa talvet usein ovat ankarampia kuin Itämeren rannikolla, havununnasaaliit olivat suurempia pohjoisempana Itä-Suomessa kuin Länsi-Suomessa. Kesälämpötiloja tarkasteltaessa voidaankin havaita niiden nousemiseen viittaava trendi, joka voisi selittää havununnien levinneisyyden laajenemista pohjoisemmas.

4.2 Virhetekijät

Havununnan levinneisyshistorian tutkimisessa käytetty havaintoaineisto on julkista tietoa, joka on kirjattu Laji.fi-portaaliin havainnoitsijoiden toimesta. Julkisen tiedon käyttöön liittyy aina mahdollisia virhetekijöitä esimerkiksi virheellisten lajintunnistusten vuoksi (Dickinson ym. 2010). Havaintoportaali on avoin kaikille, ja osan havainnoista ovat kirjannut henkilöt ilman syvempää asiantuntemusta tai lajintunnistustaitoja. Portaali on kuitenkin myös perhosharrastajien ja asiantuntijoiden käytössä, ja suuri osa havaintoaineistosta tulee luotettavista lähteistä. Osa portaalin havaintoaineistosta on karkeistettu, minkä vuoksi havaintojen tarkkoja sijaintitietoja ei ole saatavilla, mutta karttaesityksien tekemiseen käytettiin havaintoruutujen keskimääräisiä koordinaatteja, jotka oli kirjattu havaintojen yhteyteen. Tämän vuoksi karttaesityksissä havainnot eivät ole täysin oikeilla paikoillaan, mutta riittävä tarkkuus kuitenkin saadaan myös keskiarvoilla.

Havununnapyynti suoritettiin kesällä 2019 käyttämällä feromonipyydyksiä, jotka houkuttelevat tehokkaasti koirashavununnia. Tutkimuksessa oli kiinnostuttu selvittämään havununnien vakiintuneen kannan aluetta Suomessa, mutta pelkästään koiraiden läsnäolo ei kuitenkaan tarkoita lisääntyvää ja vakiintunutta kantaa. Lisäksi koirashavununnat voivat elää lisääntymiskauden jälkeen monta viikkoa ja dispersoida kauas lisääntymisalueilta (Skuhrový 1987). Koska feromonipyyntiin saaliiksi saatiin pelkästään koirasyksilöitä, voidaan kyseenalaistaa vakiintuneen havununnakannan todellinen levinneisyys Suomessa. Feromonipyyntiin on kuitenkin todettu korreloivan osittain myös esimerkiksi toukkien määrän kanssa (Morewood ym. 2000). Tiheimmän kannan alueelle on tarpeellista tehdä myös perinteisempää monitorointia naarasyksilöiden ja toukkien

havaitsemiseksi, mikä antaa luotettavamman kuvan lisääntyvän kannan koosta. Feromonipyynti on kuitenkin hyvin perusteltua monitoroinnin aloittamiseksi, sillä sen tehokkuuden ansiosta saadaan luotettavasti pyydettyä havununnakoiraita, mikäli niitä alueella esiintyy. Se on kaikista varmin ja helpoin tapa havununnan monitorointiin silloin, kun kannantiheys on pieni (Jensen 1991).

Havununnapyydysten viemisestä maastoon vastasi pääosin kolme henkilöä, mutta yhteensä pyydysten ripustajia oli kymmeniä. Pyydysten ripustamisesta annettiin kirjalliset ohjeet, mutta väistämättä eri pyydysten välillä on tullut vaihtelua esimerkiksi ripustuskorkeudessa ja paikassa. Vaikutusta pyyntitehokkuuteen ei kuitenkaan todennäköisesti ole kovin paljoa feromonin tehokkuuden vuoksi. Pyyntipaikat valittiin pääsääntöisesti Metsähallituksen omistamilta metsäalueilta, joille oli hankittu pyyntiluvat. Koska pyyntiverkosta haluttiin tehdä Etelä- ja Keski-Suomen hyvin kattava, jouduttiin pyydysten paikoiksi valitsemaan myös huonompia metsäpalstoja. Muutamilla paikoilla pyydys jouduttiin sijoittamaan lehtipuuvaltaiseen metsään, mutta kuitenkin siten että lähiympäristössä oli myös havupuumetsää. Paikkojen valitsemisessa käytettiin apuna saatavilla olevia ilmakuvia sekä Luken tuottamaa monilähde VMI-aineistoa (Valtakunnan metsien inventointi), mutta muutamilla metsäpalstoilla oli tehty hakkuita kuvien ottamisen jälkeen. Näillä paikoilla pyydykset pyrittiin asettamaan mahdollisimman lähelle yhtenäisen metsän rajaa, mutta kuitenkin lupa-alueen sisäpuolelle. On siis oletettavaa, että pyyntipaikkojen välillä on vaihtelua pyyntitehon ja metsän rakenteen mukaan, eivätkä kaikki paikat ole yhtä potentiaalisia pyydystämään alueella mahdollisesti olevia havununnia. Kuten Wang ym. (2017) kuitenkin havaitsivat, feromoni houkuttelee havununnakoiraita vähintään 200 metrin päästä. Vaikka pyydys sijaitseekin hakkuuaukean reunalla, se kuitenkin houkuttelee havununnia myös lähimetsistä.

Ainakin kaksi havununnapyydyistä joutui ulkopuolisen häiriön kohteeksi, minkä vuoksi ne eivät pyytäneet saalista. Toisen ansan ripustusnaru oli katkaistu, ja ansa löytyi maahan tiputettuna, kun taas toinen pyydys oli varastettu kokonaan. Suurin osa pyydyksistä sai kuitenkin olla maastossa koko pyyntiajan ilman häiriöitä, eikä esimerkiksi pyydysten näkyvyys aiheuttanut ongelmia. Erityisesti Etelä-Suomen pyydyksissä ongelmia aiheuttivat ampiaiset (*Vespidae* sp.), joita löytyi muutamista pyydyksistä kymmenittäin, yhdestä pyydyksestä lähes 200. Tarkistusten yhteydessä niiden aiheuttaman ilmeisen pistovaaran

lisäksi ne tuhosivat pyydyksiin jääneet havununnat, mikä vaikeutti huomattavasti yksilömäärien laskemista. Muutamissa ansoissa havununnien määrä täytyi laskea tuntosarvien lukumäärän avulla, mikä voi johtaa helposti virheisiin yksilömäärissä. Näissä tapauksissa laskettiin ainoastaan varmat tapaukset, jolloin tuloksia ei vahingossa yliarvioitu. Ampiaisia löytyi jonkun verran myös täysin tyhjästä pyydyksistä, mikä oli yllättävää, sillä oletuksena oli, että ne kerääntyivät pyydyksiin helpon ravinnon perässä. Muutamista pyydyksistä löytyikin raatokuoriaisia, jotka olivat ampiaisten tapaan tuhonneet perhossaalista. Edellä mainittujen syiden vuoksi pyydysten tyhjennysväli on havununnien päälentoaikaan pidettävä suhteellisen lyhyenä, jolloin saaliin käsittely ja laskeminen ovat käytännöllisempiä tehdä. Pyydysten sisälle laitettavat myrkyt olisivat hyödyllisiä saaliin karkaamisen estämiseksi, mutta myös saaliin kunnon säilyttämiseksi tyhjennysten välillä. Saaliiden säilyminen hyvässä kunnossa mahdollistaisi myös toisen merkittävän metsätuholaisen, lehtinunnan (*Lymantria dispar*), tunnistamisen pyydyksistä. Koska havununnalle tarkoitettu feromonipyydyks houkuttelee myös lehtinunnaa, voitaisiin samoilla pyydyksillä monitoroida kummankin lajin leviämistä. Myrkkyjen käyttäminen pyydyksissä vaikeuttaa kuitenkin pyyntilupien saamista ja pyydysten käsittelyä. Lisäksi huomioon tulisi ottaa myös pyyntialueilla liikkuvien tutkimuksen ulkopuolisten henkilöiden ja eläinten turvallisuus.

4.3 Tulevaisuuden näkymät

Suomen ilmastossa tulee tapahtumaan muutoksia jo lähitulevaisuudessa, mikä on todettu erilaisia päästö- ja lämpenemisskenaarioita mallintamalla (Ruosteenoja ym. 2016). Ilmastolosuhteiden muuttuessa havununnalle suotuisammaksi, sen levinneisyysalue voi laajeta entistä pohjoisemmaksi, kuten on havaittu mallinnoilla (Vanhanen ym. 2007) ja myöhemmin myös havaintoaineistoista (Fält-Nardmann ym. 2018a). Päivänpituuden lyheneminen pohjoiseen siirryttäessä ei näyttäisi rajoittavan leviämistä, kuten Fält-Nardmann ym. (2018b) havaitsivat. Sopivia elinympäristöjä ja havupuumetsiä löytyy Suomesta loputtomasti, mutta lisäksi Etelä-Suomen metsiä uhkaa paikoin kuusettuminen (Viiri 2007). Metsänuudistuksessa kuusitaimikoiden istuttaminen on yleistynyt mäntyjen tai koivujen istuttamisen sijaan, mikä johtaa siihen, että kuusivaltaisuus lisääntyy Suomen

uudistusmetsissä. Lisäksi hirvituhojen pelossa kuusia istutetaan myös alueille, joille se ei ole optimaalisin puulaji (Viiri 2007). Kuten esimerkiksi Tanskassa ja Tšekissä on havaittu, kuivaan hiekkamaaperään istutetut kuusikot ovat erittäin alttiita havununnan aiheuttamille tuhoille (Bejer 1986, Uhlíková ym. 2011). Tällaisten metsien yleistyminen Etelä-Suomessa luo entistä enemmän mahdollisuuksia havununnan aiheuttamille metsätuhoille, ja kuusien istuttamista havaituille riskialueille tulisi välttää.

Havununnamonitoroinnin ylläpitäminen jatkossakin on tärkeää. Havununnien nopeaan runsastumiseen on syytä viimeistään nyt herätä, ja sen aiheuttama metsätuhoriski tunnustaa, erityisesti Lounais-Suomessa. Tulevaisuudessa havununnan aiheuttama tuhoriski tuleekin ottaa huomioon metsänhoidollisissa toimenpiteissä entistä tarkemmin, kuten Äijälä ym. (2019) mainitsevat. Luonnonvarakeskuksen ja Metsähallituksen ylläpitämää kirjanpainajaseurantaa on tehty vuodesta 2012 asti. Tämän ansiosta pahimmilla epidemia-alueilla metsänomistajia voidaan neuvoa ja ohjeistaa kirjanpainajatuhojen minimoimiseksi etenkin silloin kun kannat ovat korkealla (Kniivilä ym. 2020). Havununnan monitoroinnista pitäisi tehdä samanlainen vuosittain toistuva toimenpide, jotta kannan kehitystä voidaan seurata ja mahdollisesti ehkäistä sen aiheuttamia tuhoja. Nykyään havununna on monelle metsänomistajalle täysin tuntematon metsätuholainen, ja tietoisuuden levittäminen on osa metsätuhojen välttämistä. Kesän 2019 pyyntiverkoston ylläpitäminen useiden vuosien ajan vaatii resursseja, mutta merkittävän metsätuholaisen kohdalla niistä ei kannata tinkiä. Lisäksi pyyntiverkostoa on tarpeen levittää myös entistä pohjoisemmaksi, sillä myös pyynnin pohjoisimmista ansoista saatiin saalista. Pohjoisimpien ansojen ja saaliiden välillä olisi hyvä olla esimerkiksi muutaman sadan kilometrin puskurivyöhyke. Sen avulla monitoroinnilla voidaan seurata myös havununnan mahdollista levittyäytymistä entistä pohjoisemmaksi.

5. Johtopäätökset

Tutkimuksemme osoittaa selvästi, että havununnakanta on vakiintunut Suomeen viimeisten vuosikymmenien aikana ja leviää entistä pohjoisemmaksi. Se pystyy talvehtimaan ja lisääntymään Suomen olosuhteissa, ja Lounais-Suomessa kanta on niin suuri, että paikallisia tuhoja voi jo esiintyä. Ilmaston lämpeneminen ja lauhtuvat talvet edesauttavat havununnakannan leviämistä ja vahvistumista, sillä sen talvehtimista rajoittavia

minimilämpötiloja ei enää esiinny yleisenä Etelä-Suomessa. Myös kesälämpötiloissa tapahtuneet muutokset ovat voineet parantaa havununnan levittäytymistä ja lisääntymistä lämpötilaltaan optimaalisten lentopäivien yleistyessä. Havununna on selvästi liittynyt potentiaalisten metsätuholaisten joukkoon Suomessa, ja suurien massaesiintymien syntymistä ei rajoita puute ravinnosta tai elinympäristöistä. Viimeistään kesän 2019 seurannan jälkeen havununnan runsastumiseen on herättävä Suomessa, ja pysyvää monitorointia tulisi jatkaa kannankehityksen seuraamiseksi. Ensimmäiset laajemmat metsätuhot eivät välttämättä ole kaukana tulevaisuudessa, jos havununnakanta jatkaa vahvistumistaan Suomen metsissä. Lounais-Suomessa tiheimmän kannan alueella vuosittainen monitorointi on välttämätöntä metsätuhoriskin arvioimiseksi, mutta koko maan kattavalla monitoroinnilla saataisiin lisää arvokasta tietoa havununnan levittäytymisestä ja runsastumisesta ilmaston muuttuessa.

Kiitokset

Kiitokset Pro gradu- työn ohjaamisesta Markus Melinille ja Marko Mutaselle. Kiitokset Heli Viirille ja Markus Melinille mielenkiintoisen Pro gradu- aiheen tarjoamisesta. Kiitokset kaikille tutkimuksen maasto-osuuteen osallistuneille. Tutkimuksessa käytetty havununna-aineisto kerättiin harjoittelujakson aikana, joka rahoitettiin ja toteutettiin Luonnonvarakeskuksen ”Ilmasto ja hyönteistuhot”-hankkeessa.

6. Läheteet

- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala J., Mahowald N., Mulugetta Y., Perez R., Wairiu M., & Zickfeld, K. (2018). Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In press.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A. D., & Whittaker J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16.
- Battisti, A. (2008). Forests and climate change-lessons from insects. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 1(1), 1.
- Bejer, B. (1986). Outbreaks of nun moth (*Lymantria monacha* L.) in Denmark with remarks on their control. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 59(5), 86-89.
- Bejer, B. (1988). The nun moth in European spruce forests. *Dynamics of Forest Insect Populations*, Springer, Boston, MA, 211-231.
- Björkman, C., & Niemelä P. (2015). Climate change and insect pests. CAB International, Wallingford, 2015 (CABI climate change series, no. 7), 299 s.
- Castagneyrol, B., Jactel, H., Vacher, C., Brockerhoff, E. G., & Koricheva, J. (2014). Effects of plant phylogenetic diversity on herbivory depend on herbivore specialization. *Journal of Applied Ecology*, 51(1), 134-141.
- Cescatti, A., & Battisti, A. (1992). Distribution and ecology of *Lymantria monacha* L. and *Cephalcia* spp. in non-outbreak areas of Trentino (N-Italy). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 65(5), 92-99.

- Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 149-172.
- Fält-Nardmann, J. J. J., Klemola, T., Ruohomäki, K., Niemelä, P., Roth, M., & Saikkonen, K. (2017). Local adaptations and phenotypic plasticity may render gypsy moth and nun moth future pests in northern European boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(3), 265-276.
- Fält-Nardmann, J. J. J., Tikkanen, O. P., Ruohomäki, K., Otto, L. F., Leinonen, R., Pöyry, J., Saikkonen, K., & Neuvonen, S. (2018a). The recent northward expansion of *Lymantria monacha* in relation to realised changes in temperatures of different seasons. *Forest Ecology and Management*, 427, 96-105.
- Fält-Nardmann, J. J. J., Ruohomäki, K., Tikkanen, O. P., & Neuvonen, S. (2018b). Cold hardiness of *Lymantria monacha* and *L. dispar* (Lepidoptera: Erebidae) eggs to extreme winter temperatures: implications for predicting climate change impacts. *Ecological Entomology*, 43(4), 422-430.
- Haynes, K. J., Allstadt, A. J., & Klimetzek, D. (2014). Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology*, 20(6), 2004-2018.
- Heiermann, J., & Földner, K. (2006). Mixed forests in comparison to monocultures: guarantee for a better forest conservation and higher species diversity? Macroheterocera (Lepidoptera) in forests of European beech and Norway spruce. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 15, 195-199.
- Heiermann, J., & Schütz, S. (2008). The effect of the tree species ratio of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on polyphagous and monophagous pest species—*Lymantria monacha* L. and *Calliteara pudibunda* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) as an example. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 1161-1166.
- Heino, E., & Pouttu, A. (2014). Metsätuhot vuonna 2013. Metlan työraportteja, 295, 24-25.
- Hielscher, K., & Engelmann, A. (2012). Operational monitoring of the nun moth *Lymantria monacha* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) using pheromone-baited traps—a rationalization proposal. *Journal of Forest Science*, 58(5), 225-233.
- Ilyinykh, A. (2011). Analysis of the causes of declines in Western Siberian outbreaks of the nun moth *Lymantria monacha*. *BioControl*, 56(2), 123-131.
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B., & Brockerhoff, E. G. (2017). Tree diversity drives forest stand resistance to natural disturbances. *Current Forestry Reports*, 3(3), 223-243.
- Jactel, H., Menassieu, P., Vétillard, F., Barthélémy, B., Piou, D., Frérot, B., Rousselet, J., Goussard, F., Branco, M., & Battisti, A. (2006). Population monitoring of the pine

- processionary moth (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) with pheromone-baited traps. *Forest Ecology and Management*, 235(1-3), 96-106.
- Jensen, T. S. (1991). Integrated pest management of the nun moth, *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 39, 29-34.
- Jensen, T. S., & Nielsen, B. O. (1984). Evaluation of pheromone catches of the nun moth, *Lymantria monacha* L. Effect of habitat heterogeneity and weather conditions in the flight period. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 98(1-5), 399-413.
- Jepsen, J. U., Hagen, S. B., Ims, R. A., & Yoccoz, N. G. (2008). Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77(2), 257-264.
- Jepsen, J. U., Kapari, L., Hagen, S. B., Schott, T., Vindstad, O. P. L., Nilssen, A. C., & Ims, R. A. (2011). Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch. *Global Change Biology*, 17(6), 2071-2083.
- Kaitaniemi, P., Riihimäki, J., Koricheva, J., & Vehviläinen, H. (2007). Experimental evidence for associational resistance against the European pine sawfly in mixed tree stands. *Silva Fennica*, 41(2), 259-268.
- Karolewski, P., Grzebyta, J., Oleksyn, J., & Giertych, M. J. (2007). Effects of temperature on larval survival rate and duration of development of *Lymantria monacha* (L.) on needles of *Pinus silvestris* (L.) and of *L. dispar* (L.) on leaves of *Quercus robur* (L.). *Polish Journal of Ecology*, 55(3), 595-600.
- Keena, M. A. (2003). Survival and development of *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) on North American and introduced Eurasian tree species. *Journal of Economic Entomology*, 96(1), 43-52.
- Keena, M. A., & Shi, J. (2019). Effects of temperature on first instar *Lymantria* (Lepidoptera: Erebidae) survival and development with and without food. *Environmental Entomology*, 48(3), 655-666.
- Kivelä, S. M., Välimäki, P., & Gotthard, K. (2013). Seasonality maintains alternative life-history phenotypes. *Evolution*, 67(11), 3145-3160.
- Kniivilä, M., Hantula, J., Hotanen, J.-P., Hynynen, J., Hänninen, H., Korhonen, K. T., Leppänen, J., Melin, M., Mutanen, A., Määttä, K., Siitonen, J., Viiri, H., Viitala, E.-J., & Viitanen, J. (2020). Metsälain ja metsätuholain muutosten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 124 s.
- Kochanowski, D., & Bednarz, B. (2007). Tree ring chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Black pine (*P. nigra* Arnold), and Black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) from the Słowiński National Park and neighbouring forests. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 6(4), 29-47.

- Koricheva, J., Vehviläinen, H., Riihimäki, J., Ruohomäki, K., Kaitaniemi, P., & Ranta, H. (2006). Diversification of tree stands as a means to manage pests and diseases in boreal forests: myth or reality?. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(2), 324-336.
- Lasch-Born, P., Suckow, F., Gutsch, M., Hauf, Y., Hoffmann, P., Kollas, C., & Reyer, C. P. (2018). Fire, late frost, nun moth and drought risks in Germany's forests under climate change. *Meteorologische Zeitschrift*, 135-148.
- Leinonen, R., Pöyry, J., Söderman, G., & Tuominen-Roto, L. (2016). Suomen yöperhosseuranta (*Nocturna*) 1993–2012. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2016. 76 s.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., & Laaksonen, A. (2015). Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(6), 1521-1529.
- Morewood, P., Gries, G., Liška, J., Kapitola, P., Häussler, D., Möller, K., & Bogenschütz, H. (2000). Towards pheromone-based monitoring of nun moth, *Lymantria monacha* (L.) (Lep., Lymantriidae) populations. *Journal of Applied Entomology*, 124(2), 77-85.
- Nakládal, O., & Brinkeová, H. (2015). Review of historical outbreaks of the nun moth with respect to host tree species. *Journal of Forest Science*, 61(1), 18-26.
- Netherer, S., & Schopf, A. (2010). Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests—general aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 831-838.
- Novák, V., Hrozinka, F., & Stary, B. (1976). Atlas of insects harmful to forest trees. Elsevier Scientific Publishing Company, 1, 44-45.
- Nuorteva, M. (1972). Tumamonisärmiöviruksen käytöstä ruskean mäntypistiäisen (*Neodiprion sertifer* (geoffr.) torjunnassa. *Silva Fennica*, 6(3), 172-186.
- Oltean, I., Porca, M. M., Horia, B., & Bodis, I. (2003). *Lymantria monacha* L. species monitoring with the aid of sexual attractants. *Journal of Central European Agriculture*, 4(3), 245-250.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. (2016). Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51(1), 17-50.
- Saalas U. (1949). Suomen metsähyönteiset. WSOY. 720 s.
- Schönherr, J. (1985). Nun moth outbreak in Poland 1978–1984. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 99(1-5), 73-76.
- Skatulla, U., & Feicht, E. (1995). Observations of the flight behaviour of *Lymantria monacha* L. (Lep., Lymantriidae) to pheromone baited traps 1. *Journal of Applied Entomology*, 119(1-5), 17-19.
- Skuhravý, V. (1987). A review of research on the nun moth (*Lymantria monacha* L.) conducted with pheromone traps in Czechoslovakia, 1973–1984. *Anzeiger für Schädlingkunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 60(5), 96-98.

- Skuhřavý, V., & Zúmr, I. V. (1981). Nocturnal and seasonal flight activity of the nun moth *Lymantria monacha* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) as determined by pheromone and light traps. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 92(1-5), 315-319.
- Stancă-Moise, C., Blaj, R., & Sbircea, S. (2018). The forestry ecosystems management in the Forest District Sibiu, against the defoliator species *Lymantria monacha* L., 1758 (Lepidoptera: Lymantriidae) during the period 2013-2017. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 18(1), 473-476.
- Stancă-Moise, C., Brereton, T., & Blaj, R. (2017). The control of the defoliator *Lymantria monacha* L. populations (Lepidoptera: Lymantriidae) by making use of pheromone traps in the Forest Range Miercurea Sibiului (Romania) in the period 2011-2015. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 17(4), 327-331.
- Straw, N. A., Hoppit, A., & Branson, J. (2019). The relationship between pheromone trap catch and local population density of the oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 21(4), 424-430.
- Uhlíková, H., Nakládal, O., Jakubcová, P., & Turčáni, M. (2011). Outbreaks of the Nun Moth (*Lymantria monacha*) and historical risk regions in the Czech Republic. *Šumarski list*, 135(9-10), 477-485.
- Vanhanen, H., Veteli, T. O., Päivinen, S., Kellomäki, S., & Niemelä, P. (2007). Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth-a model study. *Silva Fennica*, 41(4), 621.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P., & Drebs, A. (2005). A basic Finnish climate data set 1961–2000—description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Reports, 5, 1-27.
- Viiri, H. (2007). Syökö hirvi metsänuudistamisen monimuotoisuuden?. *Metsätieteen aikakauskirja*, 2/2007, 133-136.
- Wang, P., Chen, G. F., Zhang, J. S., Xue, Q., Zhang, J. H., Chen, C., & Zhang, Q. H. (2017). Pheromone-trapping the nun moth, *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Inner Mongolia, China. *Insect Science*, 24(4), 631-639.
- Wanner, M., Wiesener, C., Otto, L., & Xylander, W. E. (2005). Short-term effects of a nun moth suppression programme (*Lymantria monacha*), (Lepidoptera: Lymantriidae) on epigeic non-target arthropods. *Journal of Pest Science*, 78(1), 7-11.
- Yasyukevich, V. V., Titkina, C. N., Davidovich, E. A., & Yasyukevich, N. V. (2015). Changes in range boundaries of the gypsy moth and the nun moth (*Lymantria dispar*, *L. monacha*, Lymantriidae, Lepidoptera) due to the global warming: a model approach. *Entomological Review*, 95(8), 1144-1148.

Zethner, O. (1976). Control experiments on the nun moth (*Lymantria monacha* L.) by nuclear-polyhedrosis virus in Danish coniferous forests. Zeitschrift für angewandte Entomologie, 81(1-4), 192-207.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2019). Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. 255 s.